

TÜRKİYE

# İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI DERGİSİ

E-ISSN 2687-6094

Turkish Journal of  
Unmanned Aerial Vehicles



Cilt/Volume: 4  
Sayı/Issue: 2  
Aralık/December, 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 özendirmek amaçlarına sahiptir.

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisinin kapsamı;

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

### Yayınlanma Sıklığı

Yılda 2 sayı (Haziran-Aralık)

### ISSN

2687-6094

### WEB

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

### İletişim

[tiha@mersin.edu.tr](mailto:tiha@mersin.edu.tr) / [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  
[hzenol@harran.edu.tr](mailto:hzenol@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

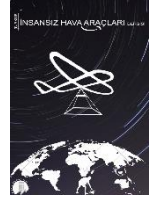
## Contents

### Araştırma Makaleleri; Research Articles\*;

<b>Sayfa/Page No</b>	<b>Makale Adı ve Yazar Adı Article Name and Author Name</b>
38-45*	<i>Acil Yardım Müdahalesi Yapan Birimler için Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kargo Drone Seçimi</i> <i>Cargo Drone Selection with Multi-Criteria Decision-Making Methods for Emergency Response Units</i> <b>Mert Kara, Rabia Yumuşak &amp; Tamer Eren</b>
46- 51*	<i>Mekânsal Çözünürlüğün Güneşlenme Potansiyeline Etkisi</i> <i>The Effect of Spatial Resolution on Insolation Potential</i> <b>Rabia Nagehan Bekçi &amp; Lütfiye Kuşak</b>
52-57*	<i>Açık Maden Ocağında Hacim Hesabı için GNSS ve İHA Ölçümlerinin Karşılaştırıldığı Bir Çalışma Örneği</i> <i>A Working Example Comparing GNSS and UAV Measurements for Volume Calculation in an Open Mine</i> <b>Adem Kabadayi</b>
58- 72*	<i>Karayolu Projelerinde Güzergah Haritalarının İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilmesi</i> <i>Production of Route Maps in Haghway Project by Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i> <b>Fatih TÜKENMEZ</b>

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

<b>S. No</b>	<b>Makale Adı (En./Tr.) ve Yazar Adı</b>
73-100**	<i>İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri</i> <i>Usage Areas and Sensor Types of Unmanned Aerial Vehicles</i> <b>Osman Villi &amp; Murat Yakar</b>



## Acil Yardım Müdahalesi Yapan Birimler için Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kargo Drone Seçimi

Mert Kara<sup>1</sup>, Rabia Yumuşak<sup>2</sup>, Tamer Eren<sup>\*3</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye

<sup>2</sup>Kapadokya Üniversite, Kapadokya Meslek Yüksekokulu, Bilişim Güvenliği Teknolojisi, Nevşehir, Türkiye

<sup>3</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Araç seçimi,  
ÇÖKV,  
Drone seçimi,  
Acil yardım,  
Afet yönetimi,  
Müdahale planlaması.

### ÖZ

Dünyada her gün ani gelişen afetler ve savaş gibi olaylar neticesinde acil yardım gerektiren durumlar meydana gelmektedir. Ani gelişen olay sonucunda müdahale süreçlerinde acil yardım ihtiyacı olan insanların konumları kritiktir. Çünkü acil yardım gerektiren bazı olayların gerçekleştiği yer bakımından incelendiğinde karadan ulaşılamayıp, havadan ise zor müdahale edilebilmektedir. Ekipler için her geçen an son derece önemli olmasına rağmen kazazedeye ulaşabilmesi çok uzun süreleri bulabilmektedir. Bu durumda gelişen teknolojiden yararlanarak, ekiplerin kazazedenin yanına ulaşana dek geçecek sürede drone'lar ile kazazedenin hayatını idame edebileceği kadar acil yardım ve yaşam malzemeleri göndermek hayati derecede önemlidir. Bu çalışmada, malzeme taşınması amacı ile üretilmiş benzer özelliklere sahip olan beş kargo drone'ndan uzun süre havada kalan, yüksek irtifaya çıkabilen, hızlı ve fazla ağırlık taşıyabilen drone'un seçilebilmesi için optimum aracın bulunması hedeflenmiştir. Bu değerlendirme yapılırken maksimum havada kalma süresi, taşıyabileceği yük miktarı, birim fiyatı, yükselebileceği irtifa, gidebileceği menzil ve hareket hızı olmak üzere altı kriter ele alınmıştır. Yapılan çalışmada Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanılmıştır. Çalışma; Türkiye'de ÇÖKV ile drone seçimi ve acil yardım müdahalesi için araç seçimi konusu üzerine yapılmış ilk uygulama özelliği taşımaktadır. Bununla birlikte çözüm yaklaşımı sunulan problem için AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntem sonuçlarının karşılaştırılması, ele alınan probleme uygulanan yöntem açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

## Cargo Drone Selection with Multi-Criteria Decision-Making Methods for Emergency Response Units

### Keywords

Vehicle selection,  
MCDM,  
Drone selection,  
Emergency aid,  
Disaster management,  
Response planning.

### ABSTRACT

As a result of sudden disasters and events such as war, situations requiring emergency assistance occur daily in the world. As a result of the sudden event, the positions of people needing urgent help in the response processes are critical. Because when some events that require emergency assistance are examined in terms of where they occur, they cannot be reached by land, and it isn't easy to intervene from the air. Although every moment is significant for the teams, going to the casualty can take a long time. In this case, it is vital to send emergency aid and life supplies as much as possible to sustain the victim's life with drones in the time that will pass until the teams reach the victim by taking advantage of the developing technology. This study aims to find the optimum vehicle for selecting a drone that can stay in the air for a long time, go to high altitudes, is fast, and can carry a lot of weight out of five cargo drones with similar characteristics produced for material transport. While making this evaluation considered six criteria: maximum airtime, amount of load it can carry, unit price, altitude to which it can go, range, and movement speed. The study used AHP, TOPSIS, and PROMETHEE, among the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. Study; It is Turkey's first application on drone selection and vehicle selection for emergency response with ÇÖKV. However, comparing the results of AHP, TOPSIS, and PROMETHEE methods for the problem whose solution approach is presented contributes to the literature regarding the technique applied to the issue in question.

\* Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

(mertkar.a@outlook.com) ORCID ID 0000-0001-9863-0067  
(rabia.yumusak@kapadokya.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-0257-939X  
(tamereren@gmail.com) ORCID ID 0000-0001-5282-3138

Kara, M., Yumuşak, R & Eren, T. (2022). Acil Yardım Müdahalesi Yapan Birimler için Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Kargo Drone Seçimi. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(2), 38-45

## 1. GİRİŞ

Dünyada her gün çeşitli etkinlikler ve savaşların yaşanması sonucunda acil yardım gerektiren durumlar ortaya çıkmaktadır. Bazı olayların yaşandığı yer bakımından incelendiğinde ulaşılması güç konumlar olduğu görülmektedir. Bu durumda acil yardım ekiplerinden önce kazazede yanına ulaşabilecek kargo drone gibi yeni ve yüksek teknoloji ürünü araçlar kullanılabilirliğinden bir araç seçimi problemi ortaya çıkmaktadır (Arslan ve Delice, 2020).

Araç seçimi problemi mevcut bir görevin hedeflenen bir şekilde yapılması açısından son derece önemlidir. Kullanıcı memnuniyetini kazanacak, hem de alıcıyı maddi açıdan zorlamayacak en iyi drone seçiminin yapılması gerekir. Bu nedenle, tüketiciler için araç seçiminde en doğru kararın verilebilmesi oldukça önemli bir konu olmaktadır (Güngör ve İşler, 2005).

Maksimum havada kalma süresi, taşıyabileceği yük miktarı, birim fiyatı, yükselebileceği irtifa, gidebileceği menzil ve hareket hızı olmak üzere altı kriter ele alınarak en uygun drone seçimi yapılmıştır. İdeal drone seçilmesi aşamasında birden çok kriter bulunduğu için Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Problemin çözümünde Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden olan Analytic Hierarchy Process (AHP), The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ve Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)'den yararlanılmıştır.

Bu çalışmada acil yardım müdahalesinde bulunan ekiplerin kullanımı için bir kargo drone seçimi yapılmak üzere araç seçimi problemi ele alınmıştır. Acil yardım gerektiren bir olay vuku bulduğunda arazi şartlarının zorluğundan dolayı ulaşılması uzun süreleri bulacak durumlarda, kazazedenin hayatta kalabilmesi için malzeme taşıma görevi yapacağından belirli özellikleri karşılaması gerekmektedir. Optimal aracın bulunmasında birçok kriter ve alternatif bulunduğu için bu çalışmada probleme ÇÖKV yöntemleri ile çözüm önerisinde bulunulmuştur. Problemden öncelikle AHP ile kriterlerin kendi aralarında ikili karşılaştırması yapılarak, kriter ağırlıklarına ulaşılmıştır. AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile alternatif 5 drone değerlendirilmiştir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde konu ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar yer almaktadır. Ardından üçüncü bölümde problemin çözümünde kullanılan yöntemler anlatılmaktadır. Dördüncü bölümde uygulama ayrıntılı bir şekilde verilmiş olup son bölümde sonuçlar vurgulanarak çalışma tamamlanmıştır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde malzeme seçim problemlerinin çözümü için çok kriterli karar verme yöntemlerinden yararlanılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Çelikyay (2002) yaptığı çalışmada hava kuvvetleri için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak yeni nesil savaş

uçacağı seçimi yapmıştır. Hamurcu vd. (2021) çalışmasında elektrikli araçların batarya seçimi için AHP ve MOORA yöntemlerini kullanmıştır. Hamurcu ve Eren (2018) yaptığı çalışmada yüksek kapasiteli, elektrikli otobüs seçimi için ANP ve TOPSIS yöntemlerinden yararlanmıştır. Alakaş vd. (2019) çalışmasında hastaların hastaneye yetiştirilmek üzere dört farklı ambulans tedarikçileri arasında seçim yapabilmek için AHP, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinden yararlanarak, sonuca ulaşmışlardır. Alakaş vd. (2021) yaptığı çalışmada Kırıkkale Üniversitesi kampüs - Kırıkkale Merkez arasında arası ulaşım yapan kişilerin yolculuklarında daha fazla konfor sağlanmasına yönelik olarak AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanarak hangi toplu taşıma aracının daha uygun olduğunu belirlemeye çalışmıştır. Çetin ve Alvalı (2020) çalışmasında yük vagonu bojsi tasarımında kullanılacak malzemenin seçimi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanmıştır. Süt vd. (2019) yaptığı çalışmada yeşil ulaşımı ele almış ve kampüs içi ulaşımında çevre dostu, üç alternatif yakıtlı araçların arasından seçimde AHP ve TOPSIS yöntemlerinden yararlanarak, sonuca ulaşmıştır. Ertuğrul ve Özçil (2014) çalışmasında eşdeğer soğutma ve ısıtma kapasitesine sahip ve A enerji sınıfı klimaları alternatif olarak belirlemiş, TOPSIS ve VIKOR yöntemi ile değerlendirerek en uygun klimanın seçilmesini sağlamıştır. Eren vd. (2018) yaptığı çalışmada ulaşımında kullanılmak üzere yerli üretim olan metroları da alternatif olarak ele alıp, AHP ve Bulanık AHP ile değerlendirmiş ve optimum sonuca ulaşmıştır. Keçek ve Yüksel (2016) çalışmasında belirli yaş aralığındaki kullanıcılar için AHP ve PROMETHEE tekniklerini kullanarak cep telefonu seçimi yapmıştır. Gavcar ve Kara (2020) üzerinde çalıştıkları çalışmada 11 farklı elektrikli otomobilde çeşitli kriterleri göz önünde bulundurarak, TOPSIS ve ENTROPI ile değerlendirmesi sonucunda sonuca ulaşmıştır. Canbulut (2019) çalışmasında yerli üretim araçları da göz önünde bulundurarak iki yerli, iki yabancı olmak üzere toplam dört araç arasından şehir içi ulaşımında toplu taşıma aracı olarak seçilmesi hedeflenen AHP ve VIKOR yöntemleri ile değerlendirmiştir. Yavaş vd. (2014) yaptığı çalışmada araç seçimlerinde en çok ele alınan kriterleri tespit edip, bunları ele alarak AHP ve ANP yöntemleri ile önceliklendirmişlerdir. AHP ve ANP yöntemlerinin farklılıkları ifade edilmiş, uygulamadaki sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Gencer vd. (2008) çalışmasında AHP yöntemi ile çeşitli piyade tüfeklerini değerlendirerek, arasından amaca yönelik optimum olanını seçmişlerdir. Şahin ve Akyer (2011) çalışmasında devlet kurumlarının alımı için AHP ve TOPSIS yöntemlerinden yararlanarak 4x4 arama kurtarma aracı seçimi yapmışlardır. Demir (2018) yayınladığı tezinde 2017 model otomobillerin teknik verilerini dikkate alarak araç seçimi problemini ele almıştır. Ele aldığı problemi TOPSIS, VIKOR ve MOORA yöntemleri ile her sınıf için ayrı ayrı uygulamış ve sonuçlara ilişkin değerlendirmeler yapmıştır. Demirci ve Manavgat (2021) çalışmasında Veri Zarflama Analizi, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerini kullanarak lojistik ana fonksiyon sahaları arasında önemli bir yer tutan alternatif forklift araçlarını üç ayrı yöntem ile değerlendirerek, aynı sonuca varılmış ve sonuca

ulaşmışlardır. Arslan (2018) çalışmasında bir Rent a Car firması için şehir içi yakıt tüketimi, şehir dışı yakıt tüketimi, motor gücü vb. gibi kriterleri ele alarak AHP ve VIKOR ile değerlendirerek, en uygun aracı hesaplamıştır. Kabak ve Uyar (2013) yaptığı çalışmada ANP ve PROMETHEE ile bir firmanın araç filosuna katmayı düşündüğü yeni yük aracı alım sürecinin değerlendirilebilmesi için gereken seçim ölçütlerini belirleyerek, bu ölçütlerin önem ağırlıkları doğrultusunda en iyi aracın seçilmesini modellemiştir. Özbek (2012) çalışmasında küçük ölçekli bir işletme için doğru hafif ticari aracı satın alması için kolayca uygulayabileceği bir karar modeli geliştirmiştir. Geliştirilen model, ölçütler arasındaki etkileşimleri dikkate alan analitik ağ süreci (AAS) temeline dayandırmaktadır. Gökgöz ve İlerisoy (2021) çalışmasında AHP yöntemini kullanarak yapılar üzerinde oluşan hasarın, patlamanın hangi tür özelliklerine bağlı olduğunu bulmuştur. Tekinay ve Batı (2022) çalışmasında askeri amaçlar için üretilen yerli ve yabancı üretim silahlı/silahsız insansız hava araçlarından (İHA/SİHA) on iki alternatif belirleyerek, bu alternatifleri havada kalma süresi, seyir hızı gibi toplamda beş kriter altında TOPSIS ve Bulanık TOPSIS ile değerlendirerek, sıralandırmışlardır. Sarı (2022) çalışmasında drone verilerinin kalibrasyonu amacıyla sınırları belli olan ve doğaya zarar vermeyen beyaz boya ile sınırları belirlenmiş ve çeşitli yüksekliklerden alanların tüm ölçümleri (uzunluklar, açılar vb.) yapmıştır. Ölçümlerin ardından çeşitli prosesleri tamamlayan Sarı, Trakya Yarımadasındaki erezyon alanlarını tespit etmiştir.

Bu çalışmada ise kargo drone seçimi AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma hem uygulama alanı hem de kullanılan yöntem entegrasyonu açısından literatüre katkı sağlar niteliktedir.

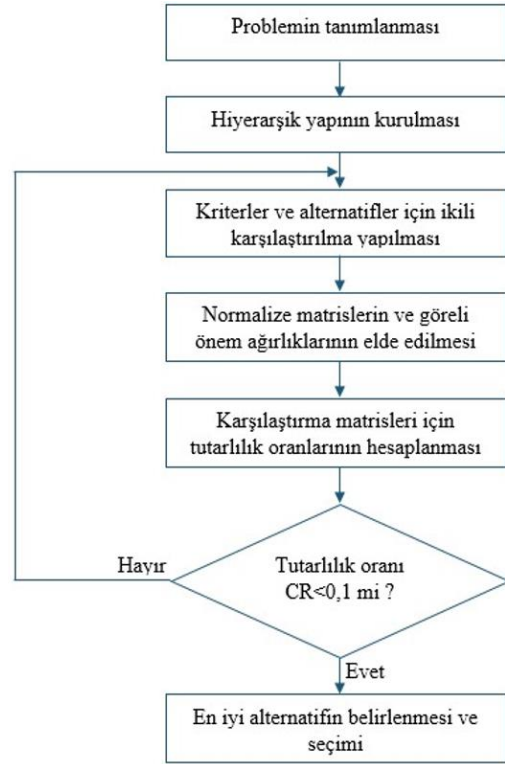
### 3. YÖNTEM

Birden çok kriterin ve alternatifin bulunduğu karar verme problemlerinin çözümünde ÇÖKV yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır. Yöntemlerin verdiği etkin sonuçlardan dolayı karar vericiler tarafından sıkça kullanılmaktadır. ÇÖKV yöntemleri ile birçok kriteri bir arada değerlendirerek en iyi çözümü veren alternatifleri üretmek mümkündür (Özkan, 2007). Bu çalışmada; ÇÖKV yöntemlerinden AHP, TOPSIS ve PROMETHEE kullanılmıştır.

#### 3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci

AHP çok kriterli karar verme problemlerinde kullanılan ve Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilen bir yöntemdir (Saaty, 1980). AHP tekniğinde en üst düzeyde bir amaç ve bu amacın altında sırasıyla kriterler, alt-kriterler ve seçeneklerden oluşan hiyerarşik bir model kullanılmaktadır (Yapıcı vd., 2021). Bu yöntem sayesinde kriterlerin amaca katkısı belirlenir, kriter ağırlıkları oluşturulur ve uygun alternatif belirlenir (Aydın vd., 2009). Bu çalışmada, kişisel önyargıların azaltılması ve farklı alternatiflerin karşılaştırılmasında yaygın bir şekilde kullanılması

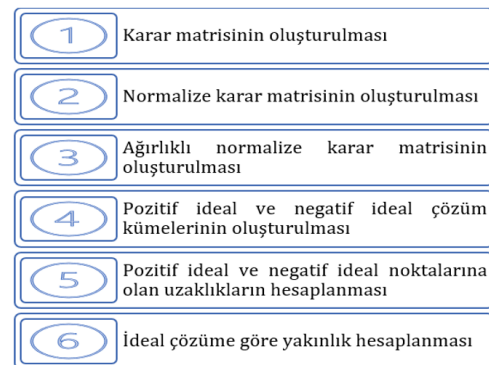
(Eren vd., 2022) ayrıca, doğrusal programlama (Özcan vd., 2021), kalite fonksiyonu dağıtımı, bulanık mantık vb. diğer analitik yöntemlerle entegrasyon esnekliğine (Tezcan vd., 2021) sahip olup etkin sonuçlar sağlamasından dolayı kriter ağırlıklarının hesaplanması sürecinde AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminin sırası ile uygulanan aşamaları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. AHP yöntemi akış şeması (Saaty, 1980)

#### 3.2. TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiş ve birçok alanda kullanılmış bir ÇÖKV yöntemidir. Yöntem karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanarak, tercih sıralaması yapmak için geliştirilmiştir (Akçay, 2018). Probleme ait niteliksel bilgileri tam olarak kullanması (Özcan vd., 2019a), alternatif sıralamasını kolay ve etkin bir şekilde gerçekleştirmesi (Özcan vd., 2020), literatürde sıklıkla geniş kapsamlı sıralama problemleri için kullanılması (Yumuşak vd., 2018; Özcan vd., 2019b) nedeniyle TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. TOPSIS yönteminin adımları özetlenerek Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. TOPSIS yöntemi akış şeması (Hwang ve Yoon, 1981)



### 3.3. PROMETHEE Yöntemi

PROMETHEE yöntemi Brans (1982) tarafından geliştirilmiş olup sonlu sayıda alternatifler üzerinde hem kısmi sıralama (PROMETHEE I) hem de tam sıralama (PROMETHEE II) yapmak mümkündür, alternatifler ( $a_1, a_2, \dots, a_n$ ) ve kriterler ( $q_1, q_2, \dots, q_k$ ) tarafından oluşan karar matrisi ile karar verme sürecine başlanır. Yöntem karar vericiye karar matrisi oluşturulduktan sonra 5 adımın izlenmesi sonucunda PROMETHEE tam ve kısmi sıralama sonuçlarını sunmaktadır (Dinçer vd., 2017). Kullanım kolaylığına sahip, kriterlerin birbirleri ile orantılı olması gerektiğine ilişkin bir varsayıma bağlı olmayan (Danışan vd., 2022), on yıllardır sağlıktan (Oral vd., 2022) teknolojiye (Deringöz vd., 2022), akıllı şehirden (Yaşar vd., 2022) ulaşım (Taş vd., 2017) birçok alanda kullanılan, bu zaman diliminde iterasyonları geliştirilen ve etkin sonuçlar üreten (Taşkın vd., 2022) PROMETHEE yöntemi öne çıkan avantajları nedeniyle seçilmiştir. PROMETHEE yönteminin aşamaları özetlenerek Şekil 3'te verilmiştir



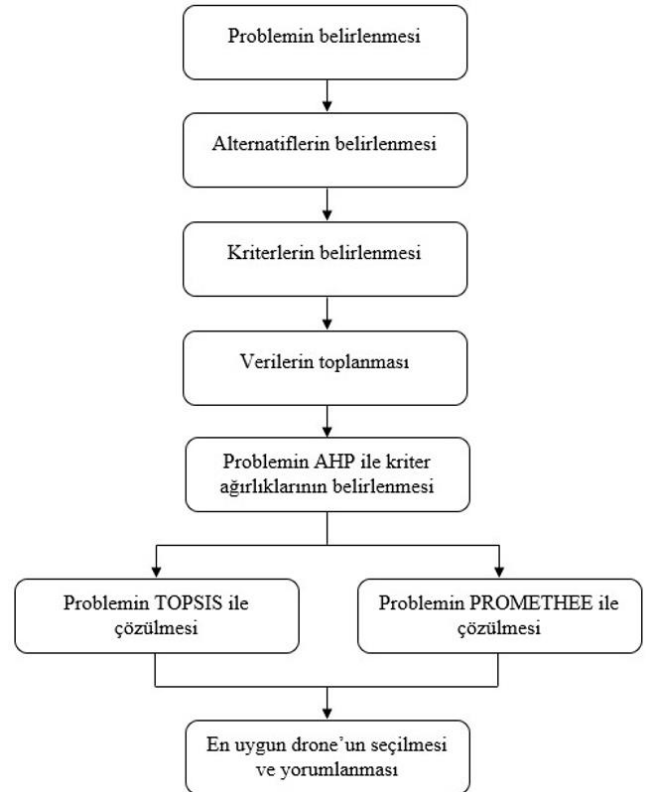
Şekil 3. PROMETHEE yöntemi akış şeması (Brans, 1982)

## 4. UYGULAMA

Ele alınan çalışmada yük taşıma amacı ile üretilmiş, birbirine benzer kabiliyetlere sahip olan beş kargo drone'un, acil yardım müdahalesinde bulunan birimlerin kullanımı için araç seçimi problemine bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Çözüm aşamasında AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları kullanılmış, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinden yararlanılarak nihai sonuca ulaşılmıştır. İki yöntemden de elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak araç seçimi problemi için optimal drone seçimi yapılmıştır. Drone seçim probleminin akış şeması Şekil 4'te gösterilmiştir.

### 4.1. Problemin Tanımlanması

Dünyada her gün çeşitli etkinlikler ve savaşların yaşanması sonucunda acil yardım gerektiren durumlar ortaya çıkmaktadır. Bazı olayların yaşandığı yer bakımından incelendiğinde ulaşılması acil yardım ekiplerinden önce kazazede yanına ulaşabilecek kargo drone gibi yeni ve yüksek teknoloji ürünü araçlar kullanılabilirliğinden bir araç seçimi problemi ortaya çıkmaktadır. Çalışmada, ulaşılmayan ve ulaşılması zor olan konumlara tıbbi malzeme ve gıda taşıyacak bir kargo drone seçimi ele alınmıştır.



Şekil 4. Problem akış şeması

### 4.2. Alternatifler

Kargo drone seçimi için alternatifler belirlenirken, yalnızca yük taşıma amacıyla üretilmiş benzer özelliklere sahip dört tanesi Çin, bir tanesi ise yerli üretim olan drone'lardan seçilmiştir.

Alternatifler; SK62 Pro, ARKUAV 40, Thor 210, Raven ve NAGA drone'ları olarak belirlenmiştir.

### 4.3. Kriterler

Kriterler belirlenirken literatürde yer alan iki çalışma uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Birim fiyat (Arslan ve Delice, 2020), maksimum havada kalma süresi (Arslan ve Delice, 2020; Tekinay ve Batı, 2022), gidebileceği menzil (Arslan ve Delice, 2020), taşıyabileceği yük miktarı (Tekinay ve Batı, 2022), hareket hızı (Tekinay ve Batı, 2022) ve yükselebileceği irtifa (Tekinay ve Batı, 2022) kriterlerine uzman görüşleri alınarak kararlaştırılmıştır. Çalışmada; havada kalma süresi (K1), taşıyabileceği yük miktarı (K2), birim fiyatı (K3), yükselebileceği irtifa (K4), gidebileceği menzil (K5) ve hareket hızı (K6) olmak üzere altı kriter ele alınmıştır.

- Maksimum havada kalma süresi (K1): Acil yardım gerektiren bir durumda olayın gerçekleştiği konumun arazi zorluğundan dolayı ulaşılabilmesi veya kazazedenin tespit edilebilmesi için bir drone'un uzun süre havada kalması gerekebilmektedir. Bu yüzden acil durumlarda kullanılacak olan bir drone seçilirken bu kriterin göz önüne alınması son derece önemlidir. Drone'ların havada kalma süresi verileri satışı bulunan bir global alışveriş sitesinden alınmıştır (Alibaba.com).

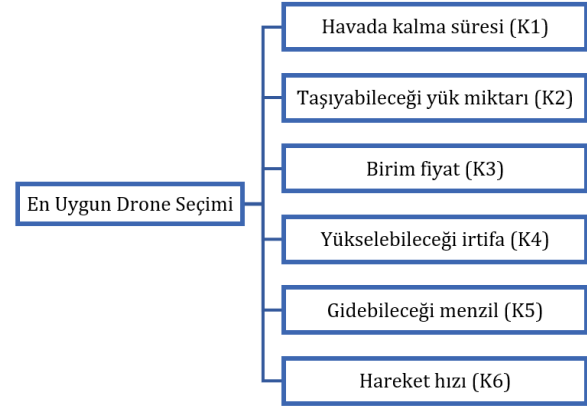
- Taşıyabileceği yük miktarı (K2): Bir olayın vuku bulması sonucu kazazedenin sağlık durumunun ağırlığına göre veya olaydaki kazazede sayısının değişebilmesinden kaynaklı taşınabilecek temel gıda ve acil yardım malzemelerinin miktarı değişebilmektedir. Bu miktar ile doğru orantılı olarak malzemelerin ağırlığının artıp/azabileceğinden dolayı drone seçiminde bu kriterin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Drone'ların taşıyabileceği yük miktarı verileri satışı bulunan bir global alışveriş sitesinden alınmıştır (Alibaba.com).
- Birim fiyat (K3): Drone satın alma aşamasında, alıcı olan kurumların düşük maliyet ile yüksek verim alabileceği bir drone seçilmesi hedeflenmiştir. Alıcının mevcut drone'u çeşitli sebeplerden dolayı kullanım dışı kaldığında yeni bir tane olarak, görevi gönderebilecek kadar düşük maliyetli olması son derece önemlidir.
- Yükselbileceği irtifa (K4): Olayın gerçekleştiği konum itibarıyla bazen drone'un dağlık arazide çok yüksek metrelere çıkması gerekebilmektedir. Çalışmada en iyi drone'un seçilebilmesi için yükselbileceği irtifa kriterini koymak son derece önemlidir. Yükselbileceği irtifa verileri global bir internet alışveriş sitesinden alınmıştır (Alibaba.com).
- Gidebileceği menzil (K5): Drone'un görevde bulunacağı alan yatay uzaklıkta kilometrelerce ileride olabilir. Bu yüzden drone'un sinyal çekim alanının yüksek olması drone pilotlarına büyük bir alan çapında görev yapabileme imkânı tanımaktadır. Bu durumdan dolayı problem çözümünde gidebileceği menzil kriteri göz ardı edilemeyecek kadar kritik bir kriterdir. Gidebileceği menzil verileri global bir internet alışveriş sitesinden alınmıştır (Alibaba.com).
- Hareket hızı (K6): Müdahale gerektiren olay gerçekleştikten sonra kazazedeye ulaşmada her geçen dakika son derece önemlidir. Drone seçim probleminde ise drone'un olaya intikal süresini belirleyecek olan hareket hızını almak, problemde gerçek veya gerçeğe çok yakın bir sonuç almak bakımından son derece önemlidir. Hareket hızı verileri global bir internet alışveriş sitesinden alınmıştır (Alibaba.com).

#### 4.4. Problemin çözümü

Problem tanımlandıktan sonra problem ile ilgili veriler toplanmış, optimum drone seçimi yapabilmek amacıyla AHP ile kriter ağırlıklandırılması yapılmış, elde edilen kriter ağırlıkları kullanılarak TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinden çözüm aşamasında yararlanılmıştır.

##### 4.4.1. Kriterlerin AHP yöntemi ile değerlendirilmesi

Öncelikli olarak hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. AHP yönteminde en uygun drone'un seçilmesinde oluşturulan kriterlerin ve alternatiflerin hiyerarşik yapısı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. AHP karar hiyerarşisi

Daha sonraki aşamada problemin AHP ile kriter ağırlıklarının bulunmuştur.

Kriterlerin kendi aralarında ikili karşılaştırma yapılmış, ardından çıkan kriter ağırlıkları alternatiflerin ikili karşılaştırmalarından sonuç olarak çıkan özvektörlerle çarpımda kullanılmıştır. Tüm alternatifler, her kriter altında ikili karşılaştırma yapılarak, sonuca varılmıştır. Kriterlerin ikili karşılaştırması Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	1	0.2	0.5	3	2	4
K2	5	1	3	5	4	7
K3	2	0.33	1	4	3	5
K4	0.33	0.2	0.25	1	0.33	2
K5	0.5	0.25	0.33	3	1	4
K6	0.25	0.14	0.2	0.5	0.25	1

Kriterler arası ikili karşılaştırma matrisi yapılmasının ardından sütunsal toplam yapılarak, toplam sütundaki her bir hücreye bölünerek Tablo 2'deki normalize karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 1. Kriterlerin normalize karar matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6
K1	0.11	0.09	0.09	0.18	0.19	0.17
K2	0.55	0.47	0.57	0.30	0.38	0.30
K3	0.22	0.16	0.19	0.24	0.28	0.22
K4	0.04	0.09	0.05	0.06	0.03	0.09
K5	0.06	0.12	0.06	0.18	0.09	0.17
K6	0.03	0.07	0.04	0.03	0.02	0.04

Normalize karar matrisini ele alınarak satırsal tüm hücreler toplanarak, toplam hücre sayısına bölünmüş ve elde edilen özvektörler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2. Kriter ağırlıkları tablosu

Kriterler	Özvektör
K1	0.141
K2	0.429
K3	0.218
K4	0.059
K5	0.115
K6	0.038

Bulunan kriter ağırlıklarının toplamaları 1 ve tutarlılık oranı 0,09 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.4.2. Alternatiflerin TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi

AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, TOPSIS yöntemi çözümünde alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır. Problemin tanımlanmasından sonra çözümün ilk aşamasında satırlar karar noktalarını, sütunlar ise faktörleri göstermek üzere Tablo 4'te gösterildiği gibi m x p boyutlu karar matrisi oluşturulmuştur (Kara vd., 2022). Oluşturulan karar matrisinde SK-62 Pro, ARKUAV 40, Thor 210, Raven ve NAGA alternatiflerine sırası ile A1, A2, A3, A4 ve A5 kodları verilerek gösterilmiştir.

**Tablo 4.** TOPSIS karar matrisi

Kodlar	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	60	20	20	3500	15	36
A2	22	15	27	5000	18	54
A3	150	10	40	3000	5	36
A4	45	4	100	3200	20	72
A5	40	5	80	7000	20	65

Karar matrisindeki kriterlerin verilerinde birim farklılıkları olduğu için Tablo 4'teki veriler kullanılarak Tablo 5'teki standart karar matrisi oluşturulmuştur. Karar matrisinde kullanılan verilerin birimleri sırası ile dakika (dk), kilogram (kg), Türk Lirası (₺), metre (m), kilometre (km) ve kilometre/saat (km/s)'dir.

**Tablo 5.** TOPSIS standart karar matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0.35	0.72	0.14	0.34	0.40	0.29
A2	0.13	0.54	0.19	0.49	0.49	0.44
A3	0.86	0.36	0.29	0.29	0.13	0.29
A4	0.26	0.15	0.72	0.31	0.54	0.59
A5	0.23	0.18	0.58	0.68	0.54	0.53

Standart karar matrisi oluşturulduktan sonra AHP yönteminden sağlanan kriter ağırlıkları kullanılarak, kriter ağırlıkları ile standart karar matrisindeki sütun hücrelerini çarpılmış ve Tablo 6'daki ağırlıklı standart karar matrisine ulaşılmıştır. Ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulurken kullanılan kriter ağırlıklarının toplamı 1 olarak bulunmuştur.

**Tablo 6.** Ağırlıklı standart karar matrisi

W	0.14	0.43	0.22	0.06	0.12	0.04
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A1	0.05	0.31	0.03	0.02	0.05	0.01
A2	0.02	0.23	0.04	0.03	0.06	0.02
A3	0.12	0.15	0.06	0.02	0.02	0.01
A4	0.04	0.06	0.16	0.02	0.06	0.02
A5	0.03	0.08	0.13	0.04	0.06	0.02

Ağırlıklı standart karar matrisi üzerinden sütunsal olarak en iyi (Pozitif İdeal) ve en kötü (Negatif İdeal) değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler üzerinden  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri hesaplanmıştır. Nihai olarak  $C_i$  değerleri de hesaplanarak Tablo 7'deki TOPSIS sonuçlarına ulaşılmıştır.

TOPSIS çözüm yöntemine göre acil yardım müdahalesi için en uygun drone seçiminde SK-62 Pro drone'u seçilmiştir.

**Tablo 7.** TOPSIS sonuç tablosu

Sıralama	$S_i^+$	$S_i^-$	$(C_i)$
A1	0.128	0.250	0.662
A2	0.139	0.176	0.558
A3	0.189	0.099	0.344
A4	0.248	0.135	0.352
A5	0.234	0.109	0.319

#### 4.4.3. Alternatiflerin PROMETHEE yöntemi ile değerlendirilmesi

Problemin PROMETHEE yöntemi ile çözüm aşamasında Visual PROMETHEE programı kullanılmıştır. AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları, PROMETHEE yöntemi aşamasında alternatiflerin sıralanmasında kullanılmıştır. Öncelikli olarak programda problemdeki alternatif ve kriter sayıları girilmiştir. Problem oluşturulduktan sonra tablo içerisine kriterlerin isimleri, alternatiflerin isimleri, kriterler için AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları ve tercih fonksiyonunu seçerek kriterlere göre alternatifler değerleri girilmiştir. Bahsedilen tüm değerler Şekil 6'da görülmektedir.

Scenario1	Havada kalm...	Tasıyabilece...	birim fiyat	yükseleblec...	gidebilecegi ...	hareket hızı
Unit	unit	unit	unit	unit	unit	unit
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences						
Min/Max	max	max	min	max	max	max
Weight	0,14	0,43	0,22	0,06	0,11	0,04
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
- P: Preference	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics						
Minimum	22,00	4,00	102,00	3000,00	5,00	36,00
Maximum	150,00	20,00	674571,00	7000,00	20,00	72,00
Average	63,40	10,80	276221,40	4340,00	15,60	52,60
Standard Dev.	44,97	6,05	222852,04	1504,13	5,61	14,72
Evaluations						
SK62 Pro	60,00	20,00	236646,00	3500,00	15,00	36,00
ARKUAV 40	22,00	15,00	674571,00	5000,00	18,00	54,00
Thor210	150,00	10,00	299735,00	3000,00	5,00	36,00
Raven	45,00	4,00	102,00	3200,00	20,00	72,00
NAGA	40,00	5,00	170053,00	7000,00	20,00	65,00

**Şekil 6.** PROMETHEE veri girişi

Tablodaki gerekli hücrelerin doldurulmasının ardından program içerisinde bulunan "PROMETHEE Table" butonuna basarak Şekil 7'deki PROMETHEE sonuç tablosu elde edilmiştir.

Rank	action	Phi	Phi+	Phi-
1	SK62 Pro	0,4288	0,7025	0,2737
2	Raven	-0,0306	0,4069	0,4375
3	ARKUAV 40	-0,0880	0,4285	0,5165
4	NAGA	-0,1408	0,3518	0,4926
5	Thor210	-0,1694	0,4103	0,5797

**Şekil 7.** PROMETHEE sonuç tablosu

PROMETHEE çözüm yöntemine göre acil yardım müdahalesi için en uygun drone seçiminde SK-62 Pro drone'u seçilmiştir.

#### 4.4.4. Çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması

AHP kriter ağırlıklandırılması altında yapılan TOPSIS ve PROMETHEE uygulamaları sonucunda her iki çözüm yöntemine göre de SK-62 Pro drone'u birinci sırada yer almıştır. Son ve ara sıralamalar iki uygulamaya göre değişmekle birlikte PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerine göre ilk sırada SK-62 Pro drone'u çıkması drone seçiminde bu alternatifin seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Sonuçların karşılaştırılması Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** AHP-TOPSIS ve AHP-PROMETHEE sonuçlarının karşılaştırılması

Sıralama	AHP-TOPSIS sonucu	AHP-PROMETHEE sonucu
1	SK-62 Pro	SK-62 Pro
2	ARKUAV 40	Raven
3	Thor 210	ARKUAV 40
4	Raven	NAGA
5	NAGA	Thor 210

Tablo 8 incelendiğinde SK-62 Pro alternatifinin iki çözümde de birinci sırada olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi K2 olarak kodlanan taşıyabileceği yük miktarı kriterininin 0.429 çıkmasıdır. K2'nin kriter ağırlığı diğer kriterlere nazaran büyüktür. Bu durum SK-62 Pro alternatifini diğer alternatiflerin önüne geçirmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Arama kurtarma ve acil yardım müdahalelerinde yeni nesil teknoloji ürünü olan drone'lardan yararlanarak ulaşılamayan ya da ulaşılması zor olan bölgelere tıbbi malzeme ve temel gıda desteği sağlanabilir. Drone seçiminde etkin rol oynayan 6 adet kriter belirlenmiş ve 5 alternatif bu kriterler altında değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada ÇÖKV yöntemlerinden AHP; kriter ağırlıklandırma aşamasında kullanılmış, elde edilen kriter ağırlıkları TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. AHP yönteminin ağırlıklandırması sonucunda en önemli kriterler sırası ile 0.429, 0.218 ve 0.141 ağırlıklarıyla taşıyabileceği yük miktarı, birim fiyat ve havada kalma süresi olarak belirlenmiştir. AHP kriter ağırlıklarına göre TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile sonuçlar değerlendirildiğinde en iyi sonuç olarak SK-62 Pro drone'u seçilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında birinci seçilmesi gereken drone her iki çözüm yöntemine göre de SK-62 Pro olurken, en son seçilmesi gereken drone ise çözüm yöntemlerine göre farklılık göstermektedir.

Çalışma; Türkiye'de ÇÖKV ile drone seçimi ve acil yardım müdahalesi için araç seçimi konusu üzerine yapılmış ilk uygulama özelliği taşımaktadır. Ek olarak, çözüm yaklaşımı sunulan problem için AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntem sonuçlarının karşılaştırılması literatüre katkı sağlamaktadır.

İleride yapılabilecek projelerde savaş alanında karadan ulaşılması mümkün olmayan durumda yüksek kilogramlarda mühimmat taşıyabilecek drone seçimi gibi daha farklı amaçlara hizmet edecek drone'ların seçiminde bu çalışmada önerilen kriterler ile çözülebilir.

Böylece önerilen kriterlerin etkinliği farklı problemlerde de denenerek, analiz edilebilir.

#### Yazarların Katkısı

Yazar 1, problem tanımı, problem çözümü ve rapor yazımı; Yazar 2 yöntemin belirlenmesi, problem çözümü ve rapor yazımı; Yazar 3 yöntemlerin belirlenmesi, sonuçların doğrulanması ve süreç yönetiminde katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## KAYNAKÇA

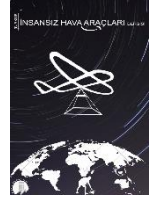
- Akçay, M. (2018). Optimal Site Election For A Solar Power Plant İn Turkey Using A Hybrid AHP-TOPSIS Method. *Celal Bayar University Journal Of Science*, 14(4), 413-420.
- Alakaş, H. M., Bucak, M. & Kızıltaş, Ş. (2019). AHP-TOPSIS ve AHP-VIKOR Yöntemleri ile Ambulans Tedarik Firması Seçimi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(1), 93-101.
- Alakaş, H. M., Yazıcı, E., Cebeci, S., Yılmaz, E. E. & Eren, T. (2021). Toplu Ulaşım Sistemlerinde Araç Tipi Seçimi: Kırıkkale Kampüs Hattı Örneği. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 269-287.
- Arslan, N. & Delice, E.K. (2020). KEMIRA-M yöntemi ile kişisel kullanıcılar için dron seçimi: bir uygulama. *Endüstri Mühendisliği*, 31(2), 159-179.
- Arslan, R. (2018). AHP ile Ağırlıklandırılmış VIKOR Yöntemiyle Araç Seçimi; Rent A Car Firması Uygulaması. *Turkish Research Journal of Academic Social Science*, 1(1), 15-20.
- Aydın, Ö., Öznehir, S. & Akcalı, E. (2009). Ankara İçin On İmal Hastane Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci ile Modellemesi. *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 14(2).
- Brans, J. P. (1982). L'ingenierie de la decision: Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La Methode PROMETHEE. *Universite Laval, Colloque d'aide a la Decision, Quebec, Canada*, 183- 213.
- Canbulut, G. (2019). Şehir İçi Ulaşımında Toplu Taşıma Araçlarının Seçiminin AHP ve VIKOR Teknikleri ile Çok Kriterli Modellenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(2), 178-187.
- Çelikyay, S. (2002). Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması. *Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Çetin, M. H. & Alvalı, G. T. (2020). Yük Vagonu Bojisi Tasarımında Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Malzeme Seçimi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(1), 91-104.
- Danışan, T., Özcan, E. & Eren, T. (2022). Personnel Selection with Multi-Criteria Decision Making Methods in the Ready-to-Wear Sector. *Tehnički vjesnik*, 29(4), 1339-1347.
- Delice, K. E. & Arslan, N. (2020). KEMIRA-M Yöntemi ile Kişisel Kullanıcılar İçin Dron Seçimi: Bir Uygulama. *Endüstri Mühendisliği*, 31(2), 159-179.

- Demir, M. (2018). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Segmentlere Göre Araba Modellerinin Sıralanması. MS thesis. *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Demirci, A. & Manavgat, G. (2021). Veri Zarflama Analizi, TOPSIS ve VIKOR Teknikleriyle Forklit Araç Seçimi: Karma Model Önerisi. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 2-27.
- Diñçer, S. E., Ekin, E. & Karakaş, K. S. (2017). PROMETHEE Yöntemiyle Uçak Komponentlerinin Önceliklendirilmesi Problemlerine Çözüm Yaklaşımı. *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(3), 106-125.
- Eren, T., Danişan, T., Deringöz, A. & Aksüt, G. (2022). Comparison and selection of patient follow-up systems for covid-19 pandemic patients. *Fashion and Textiles*, 9(1), 1-13.
- Eren, T., Hamurcu, M. & Diñç, S. (2018). Kentsel Ulaşım İçin Alternatif Tramvay Araçlarının Çok Kriterli Seçimi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 4(2), 124-135.
- Ertuğrul, İ. & Özçil, A. (2014). Çok Kriterli Karar Vermede TOPSIS ve VIKOR Yöntemleriyle Klima Seçimi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(1), 267-282.
- Gavcar, E. & Kara, N. (2020). Elektrikli Otomobil Seçiminde Entropi ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması. *İş ve İnsan Dergisi*, 7(2), 351-359.
- Gökgöz, B. & İlerisoy, Z. (2021). Kent-Yapı İlişkisi Bağlamında Araç Bomba Saldırlarına Alınabilecek Önlemlerin AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi.
- Güngör, İ. & İşler, D. B. (2005). Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile Otomobil Seçimi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 1(2), 21-33.
- Hamurcu, M., Çakır, E. & Eren, T. (2021). Kullanıcı Perspektifli Çok Kriterli Karar Verme ile Elektrikli Araçlarda Batarya Seçimi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 733-749.
- Hamurcu, M. & Eren, T. (2018). Yüksek Kapasiteli Elektrikli Otobüslerin Seçiminde Hibrit Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. *Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, 1-10.
- Kara, M., Ercan, Y., Yumuşak, R., Cürebal, A. & Eren, T. (2022). Yenilenebilir Hibrit Enerji Santrali Uygulamasında Tesis Yer Seçimi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 208-227.
- Özbek, A. (2012). Küçük Ölçekli İşletme İçin Analitik Ağ Süreci ile Ticari Araç Seçimi. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 1(4).
- Özcan, E., Danişan, T. & Eren, T. (2019a). Hidroelektrik santrallerin en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 498-506.
- Özcan, E.C., Danişan, T., Yumuşak, R. & Eren, T. (2020). An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants, *Eksploatacja I Niezawodność- Maintenance and Reliability*, 21(3), 400-418.
- Özcan, E. C., Yumuşak, R. & Eren, T. (2019b). Risk Based Maintenance in the Hydroelectric Power Plants, *Energies*, 12(8), 1502-1523.
- Özcan, E., Yumuşak, R. & Eren, T. (2021). A novel approach to optimize the maintenance strategies: a case in the hydroelectric power plant. *Eksploatacja I Niezawodność- Maintenance and Reliability*, 23(2), 324-337.
- Özkan, Ö. (2007). Personel Seçiminde Karar Verme Yöntemlerinin İncelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS Örneği. *Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi*.
- Oral, N., Yapıcı, S., Yumuşak, R. & Eren, T. (2022). Pandemi Sürecinde Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi için İlaç Deposu ve Aşı Dağıtım Merkezi Yeri Seçimi. *Politeknik Dergisi*, (basımda), 1-1.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill, Hawthorne.
- Sarı, H. (2022). İnsansız Hava Aracı (Drone) ile Erozyon Alanlarının Tespiti: Trakya Yarımadası Örneği. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(1), 70-79.
- Süt, N. İ., Hamurcu, M. & Eren, T. (2019). Kampüste Yeşil Ulaşım Uygulaması: Ring Araçlarının Seçimi İçin Bir Karar Verme Süreci. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 5(1), 9-21.
- Şahin, Y. & Akyer, H. (2011). Ülke Kaynaklarının Verimli Kullanımı: 4x4 Arama ve Kurtarma Aracı Seçiminde AHS ve TOPSIS Yöntemlerinin Uygulanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 3(5), 72-87.
- Taş, M., Özlemiş, Ş.N., Hamurcu, M. & Eren, T. (2017). Ankara'da AHP ve PROMETHEE yaklaşımıyla monoray hat tipinin belirlenmesi. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 3(1), 65-89.
- Taşkın, E., Gezik, N., Yumuşak, R. & Eren, T. (2022). Depo Yönetiminde Endüstri 4.0 Uygulaması: Bir İşletme İçin RFID Teknoloji Seçimi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 44(1), 194-211.
- Tekinay, O. N. & Batı, G. B. (2022). Askeri Alanlarda Kullanılmak Üzere İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri Seçiminde TOPSIS ve Bulanık TOPSIS Yönteminin Kullanılması. *Endüstri Mühendisliği*, 33(1), 78-103.
- Tezcan, B., Alakaş, H.M., Özcan, E. & Eren, T. (2021). Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi ve Çok Araçlı Araç Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama. *Politeknik Dergisi*, (basımda) 1-1.
- Yapıcı, S., Oral, N., Yumuşak, R. & Eren, T. (2021). Blokzincir Teknolojisi ile Merkezi ve Dağıtık Veri Tabanının Karşılaştırılması. *Endüstri Mühendisliği*, 32(3), 457-472.
- Yaşar, S., Poyraz, Z., Yumuşak, R. & Eren, T. (2022). ANP ve PROMETHEE Yöntemleri ile Akıllı Şehir Analizi: Ankara'da Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1), 15-28.
- Yumuşak, R., Özcan, E.C., Danişan, T. & Eren, T., AHP-TOPSIS-tam sayılı programlama entegrasyonu ile hidroelektrik santrallerde bakım strateji optimizasyonu, *Uluslararası GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Kongresi*, 80-84, Şanlıurfa, 10-12 Mayıs (2018).
- www.alibaba.com.



© Author(s) 2022.

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



## Mekânsal Çözünürlüğün Güneşlenme Potansiyeline Etkisi

Rabia Nagehan Bekçi\*<sup>1</sup>, Lütfiye Kuşak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İHA,  
CBS,  
Güneşlenme Potansiyeli,  
Güneş Radyasyonu.

### ÖZ

Toplumların enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyaç günümüzde ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan karşılanırken, sürdürülebilir çevre yönetimi için verimli ve yenilenebilir enerji kaynakları alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu kaynakların başında güneş enerjisi gelmektedir. Güneşin yaydığı enerji, dünyanın tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeyde, temiz ve tükenmez bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu derece büyük ve yenilenebilir enerji kaynağından etkin biçimde yararlanabilmek için güneş enerjisi potansiyelinin en iyi şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsünde yer alan Tıp Fakültesi Hastanesi'ni içine alan pilot bölgede güneş enerjisi potansiyeli analizi farklı mekânsal çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-DEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modeller karşılaştırıldığında yüksek çözünürlüklü model güç üretimi ve hassas tahminlerde, düşük çözünürlüklü modelin ise daha çok bölgesel veya ulusal düzeyde yapılacak analizlerde kullanılabileceği saptanmıştır. Farklı çözünürlükteki modellerin kullanılabileceği çalışmalar önerilmiştir.

## The Effect of Spatial Resolution on Insolation Potential

### Keywords

UAV,  
GIS,  
Insolation potential,  
Solar radiation.

### ABSTRACT

The energy requirements of society are increasing daily. While fossil fuels currently cater for most of this need, efficient and renewable energy sources have begun to be employed as an option for long-term environmental management. Solar energy is one of these sources. The sun's energy is a clean and unlimited renewable source that can supply all of the world's energy needs. To reap the most benefits from such a large and renewable energy source, the solar energy potential must be thoroughly examined. Solar energy potential analysis was carried out in the pilot zone, which included the Faculty of Medicine Hospital on Mersin University's Çiftlikköy campus, using the Digital Elevation Model (DEM) with varied spatial resolutions. When the models were compared, it was discovered that the high-resolution model could be utilized in power generation and accuracy prediction, while the low-resolution model could be used in the regional or national analysis. It was suggested that models with different resolutions be employed.

## 1. GİRİŞ

İnsanlar sağlık, aydınlatma, yemek pişirme ve iletişim gibi alanlarda enerji hizmetlerine ihtiyaç duymaktadır (Edenhofer vd., 2011). Günlük enerjiye olan ihtiyaç ise dünyadaki nüfusun artması ile beraber insanların ekonomik ve sosyal gelişimini sağlayabilmesi açısından artma eğilimindedir (Bekçi vd., 2022). Enerjinin öneminin her geçen gün farkına varılması ile günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının yönetimi de dikkat çekici bir biçimde artmaktadır. Özellikle, yenilenebilir enerji kaynakları jeopolitik çatışmalar, akaryakıt fiyatlarındaki dalgalanmalar, çevresel sorunlar gibi zorluklara karşı en etkili çözüm olarak görülmektedir (Owusu vd., 2016).

Rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biyoenerji, hidroelektrik, okyanus enerjisi ve bitki artıkları gibi yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile meydana gelen ışıma enerjisidir. Güneş enerjisi teknolojisi, fotovoltaik (PV) ve konsantre güneş enerjisi (CSP) kullanarak elektrik üretmek, termal enerji üretmek, doğrudan aydınlatma ihtiyaçlarını karşılamak ve potansiyel olarak ulaşım ve diğer amaçlar için kullanılacak yakıtları üretmek için güneş ışınımından elde edilebilmektedir (Owusu vd., 2016).

Güneşin yaydığı enerji, dünyanın tüm enerji ihtiyacını karşılayabilecek düzeye sahip temiz ve verimli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Arca & Çitiroğlu, 2022). Bu derece büyük ve yenilenebilir enerji kaynağından etkin biçimde yararlanabilmek için güneş enerjisi potansiyelinin en iyi şekilde analiz edilmesi gerekmektedir.

Güneş enerjisi, yeryüzünün bütün bölgelerine eşit şekilde dağılmamaktadır. Türkiye, matematik konumu itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli açısından yüksek bir güneş enerjisi potansiyeli barındırmaktadır (Oral, 2020). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre, ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741.07 saat (günlük toplam 7.5 saat) olup ortalama yıllık toplam ışınım değeri 1527.46 kWh/m<sup>2</sup> (günlük toplam 4.2 kWh/m<sup>2</sup>) olarak hesaplanmıştır (EİGM, 2021). Türkiye'nin, güneş enerjisine gerekli yatırımların yapılması ile dünya pazarında mevcut payından daha fazla bir pay alabileceği öngörülmektedir.

Güneş enerjisi potansiyelinin kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Güneş enerjisi potansiyeli güneş enerji santrallerinin (GES) uygun yer tespiti çalışmalarında olduğu kadar, güneşlenme potansiyelinin bilinmesinin oldukça faydalı olacağı düşünülen;

- Yapılması planlanan kayak tesisleri için uygun bölgelerin tespit edilmesi,
- Özel iklim koşullarına ihtiyaç duyan bitkilerin gerekli seviyede büyüebilmesi ve yetiştirilmesi için en uygun konumların belirlenmesi,
- Oluşturulan güneşlenme haritaları ile orman yangınlarının davranışlarının tahmin edilmesi ve yangını minimum düzeye indirebilmek için söndürme çalışmalarının planlanması,
- Ulaşım ve diğer amaçlar için kullanılacak yakıtların üretilmesi,
- İnşaat mühendisliği ve şehir planlaması gibi çalışmalarda da kendisine yer bulmaktadır.

Güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için kabul görmüş üç yöntem (yerel istasyonlar, meteorolojik uydular ve sayısal yükseklik modelleri) bulunmaktadır. Literatürde bu yöntemlerle yapılmış çalışmalar bulunmaktadır (Vafaeipour et al., 2014; Jung et al., 2019; Huang et al., 2019). Dewanto et al. (2019), yaptıkları çalışmada Tayvan'daki National Cheng Kung Üniversitesi'nde (NCKU) üç boyutlu (3B) kampüs modelini üretmek için İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanarak sayısal veriler toplamışlardır. İHA'dan gerçek ortofoto, Sayısal Yüzey Modeli (SYM / Digital Surface Model-DSM) ve bina sınırlarını üretmişlerdir. Bina sınırları ve bina yükseklikleri kullanılarak, 3B kampüs modelinde daha gerçekçi bir etki elde etmek için Autodesk Insight 360 ve Autodesk Revit programlarını kullanmışlardır. Daha sonra bu veriler ile DSM verileri ArcGIS Pro'da işlenmiş, böylelikle kampüsün güneş enerjisi potansiyeli tespit edilmiştir. 3B Web CBS ile çalışmaya son kullanıcıların erişebilmesini ve sonucu görüntüleyebilmesini hedeflemişlerdir. Vafaeipour et al. (2014) tarafından yapılan çalışmada sürdürülebilir kalkınma ve devamlılık için güneş enerjisinin önemine dikkat çekilmiştir. Bu amaçla da çalışma alanı olan İran Yazd'de güneş enerjisi potansiyeli belirlenmiştir. Zhang et al. (2020) ise güneş enerjisini birincil elektrik kaynağı olması için öncelikle güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Çin Xinjiang Eyaletinde gerçekleştirilen uygulamada Çin için temel elektrik kaynağının güneş enerjisi olması hedeflenmiştir. Bunun için de güneş enerjisi potansiyeli tespit edilmiştir.

Bu çalışmada iyi güneşlenme süresine ve yüksek güneş potansiyeline sahip Mersin'de uygulama gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi olarak Mersin Üniversitesi Çiftlikköy kampüsü seçilmiştir. Çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM / Digital Elevation Model-DEM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM / Digital Terrain Model- DTM) İHA kullanılarak çekilen görüntülerden üretilmiştir. Elde edilen DEM ve DTM'nin yanı sıra çevrimiçi platformlardan indirilen DEM verisi de eklenerek çözünürlüğün güneşlenme potansiyeline olan etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Güneş enerji potansiyelinin elde edilme yöntemleri üç ana başlık altında sıralanabilmektedir;

Yersel İstasyonlar: Meteoroloji enstitüleri, yer istasyonlarının güneş ışınımını kaydeden otomatik yer tabanlı hava istasyonunu yönetmektedir. Bu yöntem ile yıllık bazda doğru ve düşük çözünürlükte ülke içindeki ışınımın değişimi incelenebilmektedir.

Meteorolojik Uydular: Dünya ile aynı açısal hızda dönen, gözlem yapabilen, geniş alanlarda hızlı ve yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilen sabit yörüngeli uydulardır. Güneş radyasyonu tahmininde istatistiksel, fiziksel ve hibrit modellerin uygulandığı üç yaklaşım bulunmaktadır.

Sayısal Yükseklik Modelleri: Yersel ölçüm yöntemlerine ek olarak, LiDAR ve fotogrametrik alım yöntemleri ile topografyada belirlenen noktalardan alınan yükseklik değerleri kullanılarak geri kalan yüzeyin değerlerinin hesaplanarak yüzey topografyasının oluşturulmasıdır.

Oluşturulan bu modeller güneş enerji potansiyeli için kullanılabilir.

DTM sadece araziyi gösteren ağaç, bina gibi objeleri içermeyen arazi yükseklik modeli iken, DSM ise çıplak arazi modeline ek olarak ağaç, bina, bitki örtüsünü de içeren modeldir. DEM verileri kullanım alanına, çalışma alanına, maliyetine göre farklı şekilde elde edilebilmektedir (Kuşak vd., 2019; Çelik vd., 2020). LiDAR ile hızlı ve yüksek çözünürlüklü yükseklik haritaları oluşturulabilmektedir (Yalçın, 2020; Ulvi vd., 2021). LiDAR'ın, büyük veri kümeleri oluşturması ve maliyetinin pahalı olması sebebiyle bu çalışmada İHA verileri kullanılmıştır. İHA'dan üretilen fotogrametrik verilerin doğruluğu, yersel ölçme yöntemleri kullanılarak üretilen ürünlerdeki doğruluk değerlerine yakın sonuçlar vermektedir (Yakar vd., 2014; Ulvi & Yakar, 2020; Hastaoğlu vd., 2022).

İHA platformu; video kamera, termal kamera, multispektral kameralar, LiDAR algılayıcılardan veya fotogrametrik algılayıcıların bir kaçından oluşan, GPS/INS entegrasyonun sağlandığı bir sistemdir (Eisenbeiss, 2003; Gültekin vd., 2016; Doğan & Yakar, 2018; Çelik vd., 2020). İHA platformu ortofoto, DSM, hâlihazır harita üretimi, DEM ve 3B model üretiminde kullanılabilen bir veri kaynağı görevi görmektedir (Nex & Remondino, 2014; Yiğit & Ulvi 2020; Kuşak vd., 2021).

İHA ile elde edilen fotogrametrik veriler farklı yazılımlar kullanılarak işlenebilmekte ve bu sayede birçok yüksek çözünürlüklü sayısal ürünler oluşabilmektedir. Kısa sürede üretilen bu ürünler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile analiz edilerek birden fazla alanda kullanılabilir. Ayrıca İHA daha hızlı çözüm desteği sunması bakımından bu çalışmada tercih edilmiştir.

## 2.1. Çalışma Alanı

Türkiye için yapılan güneş enerjisi potansiyel atlası incelendiğinde Mersin ilinin yüksek potansiyeli göze çarpmaktadır. Mersin ilinde güneş enerjisi ağırlıklı olarak tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Bununla birlikte, küçük işletmelerde, özel olarak ısınmada, elektrik üretiminde ve sıcak su temininde de kullanılmaktadır (Atmaca vd., 2014; Bekçi & Kuşak, 2022).

Çalışma alanı Mersin Üniversitesi'nin Çiftlikköy Kampüsü'nde bulunan Tıp Fakültesi Hastanesi ve civarını kapsamaktadır. Üniversite içerisinde en yoğun kullanılan alan hastane ve civarı olduğu için bu alan pilot bölge seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

## 2.2. Veri Temini

Çalışmada Sensefly markalı ebee model İHA ile aynı marka tarafından üretilen S.O.D.A. model kamera kullanılmıştır. Kullanılan İHA Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Sensefly ebee sabit kanatlı İHA (Paksoy,2022)

20 Mega piksel kameraya ve RGB bantlara sahip olan İHA'nın teknik özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sensefly ebee sabit kanatlı İHA'nın teknik özellikleri

Teknik Özellik	Değer
Ağırlık	1100 g
Genişlik	110 cm
Seyir Hızı	40-110 m/s
Maksimum uçuş zamanı	59 dk
PPK	Var
RTK	Var

Çekilen görüntüler fotogrametrik değerlendirilerek, ülke koordinat sisteminde kampüs alanını kapsayan 28 cm çözünürlüğe sahip DEM haritası üretilmiştir (Şekil 3).

Güneş radyasyonu aracı CBS tabanlı olduğu için raster veya vektör girdi verilere ihtiyaç duymaktadır. Güneş Radyasyonu aracı, güneş radyasyonunu coğrafi alanlar üzerinde modellemek için DEM verisi



kullanılmaktadır. Çalışmada İHA'dan üretilen DEM verisine ek olarak 5 ve 30 m çözünürlüğe sahip girdi veriler çevrimiçi platformlardan (Earthexplorer) elde edilmiştir.

DEM verisinin kullanılma sebepleri;

- Uygun maliyetli ve hızlı elde edilebilir olması,
- Radyometrik istasyon ağlarının dağınık olması ve her çalışma alanı için uygun olmaması nedeniyle uydu görüntüleri ve DEM verilerinin daha kullanılabilir hâl alması,
- Uydu görüntüleri, geniş alanları kapsamına rağmen genellikle zayıf bir mekânsal çözünürlüğe sahip olduğundan karmaşık topografya bölgelerinde DEM bilgilerinin kullanılması daha avantajlıdır.

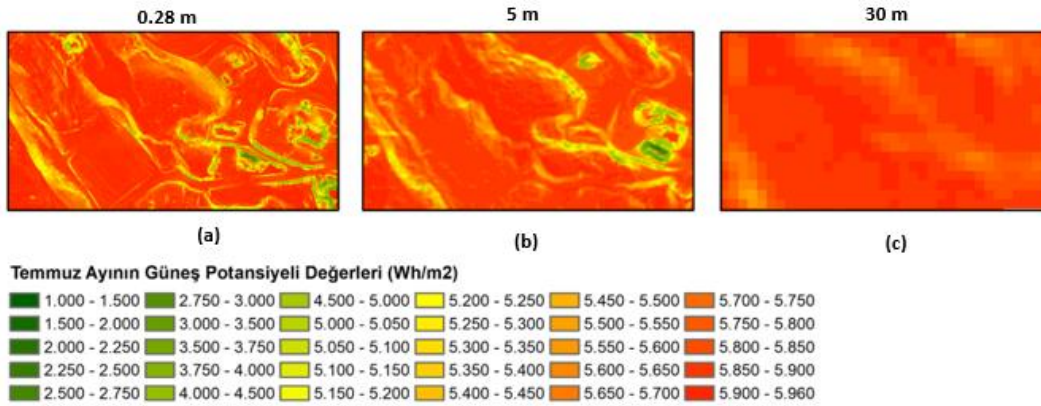
### 2.3. Güneş Radyasyonu Aracı

ArcGIS'deki mekânsal analiz aracının uzantısı olan güneş radyasyonu analiz aracı çalışılacak mekânsal alanlarda Fu & Rich (1999)'in geliştirerek ileri düzeye taşıdığı yarı küresel görüş açıklığı algoritmasıyla istenilen zamandaki güneş ışığının modellenmesini sağlamaktadır. Mekânsal ölçekte güneş radyasyonunun hassas hesaplanması adına topoğrafik etkilerin hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Güneş radyasyonu analizi; enlemin, yükseltinin, eğimin, güneş açısının ve bölgedeki nesnelere oluşturduğu gölgelerin topoğrafyadaki güneş radyasyonu miktarını nasıl etkilediğini irdeleyen raster tabanlı araçtır. Farklı konumlar farklı güneşlenme sürelerine, varyasyona ve doğal ya da yapay etkenlere sahiptir. Bu yüzden her

bölgenin özelliğine göre hesaplanması yapılacak analizler için son derece önem arz etmektedir. Düşük hesaplama maliyeti nedeniyle raster tabanlı hesaplamalar geniş alanlar için uygun olduğundan tercih edilmektedir. Güneş radyasyonu analiz aracı, arazi ve çatılar gibi 2.5B yüzeyler için çok etkili iken dikey cepheler için 3B bir yaklaşıma gerek duymaktadır. Gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde güneş radyasyonu için kullanılan hâlihazırda yöntemlerin (sadece eğim ve bakı kullanılarak doğrudan yapılan tahminler) hassas sonuçlar vermediği gözlemlenmiştir. Bu araç tarımdan sulama faaliyetlerine, arazi yönetiminden ekolojik analizlere kadar birçok alanda başarılı güneş radyasyonu analizi yapmaya imkân tanımaktadır. Bu çalışmada da güneş enerjisi potansiyel analizi için kullanılmıştır.

### 3. BULGULAR

Çalışma alanında, farklı yöntemler ile elde edilen DEM verileri kullanılarak güneş radyasyon modelleri oluşturulmuştur. Farklı çözünürlükteki DEM verilerine Temmuz ayının ilk gününü içeren radyasyon hesaplama aracı uygulanarak 3B modellerin değerleri üretilmiştir. Girdi olarak kullanılan DEM verilerinin çözünürlükleri sırasıyla 28 cm, 5 m ve 30 m'dir. Üç modelin de minimum ve maksimum değerleri baz alınarak 30 sınıflı olacak şekilde güneş potansiyeli değerlerine sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Güneş potansiyeli değerleri incelendiğinde mekânsal çözünürlüğün önemli bir faktör olarak etkisi Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 2. (a) 28 cm, (b) 5 m, (c) 30 m çözünürlükteki DTM modelleri

Modeller karşılaştırıldığında, farklı çözünürlükteki üç ayrı DTM verisinde çözünürlüğü yüksek olan modelin arazi yüzeyi net olarak görülebilirken, çözünürlük düştükçe aynı alanı içeren modellerde arazinin görünürlüğü azalmaktadır.

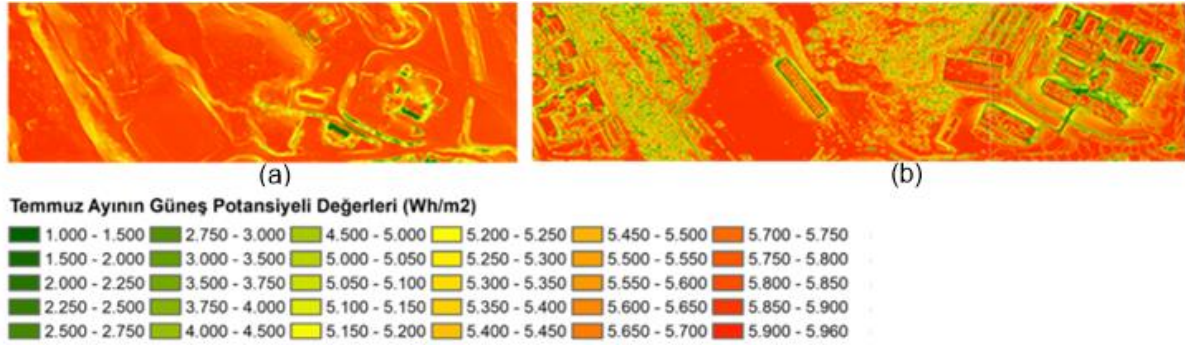
Verilerin işleme süresi modelin çözünürlüğüne göre uzun veya kısa zamanda sonuç vermektedir. Güneş radyasyonu alan hesabının işlem süresi

- 28 cm çözünürlüklü model için 10 sa, 7 dk
- 5 m çözünürlüklü model için 6 sa, 22 dk
- 30 m çözünürlüklü model için 1 sa, 12 dk'dır.

Modellerin hepsi dört çekirdekli ve sekiz GB RAM'li Intel i3 işlemcili bir Windows makinesinde yürütülmüştür.

Ortaya çıkan her bir görüntü farklı amaç ve türdeki analizlerin yapılmasına olanak sağlamaktadır.

- 28 cm'lik çok yüksek çözünürlüklü model, güç üretimi ve kapasite tahminlerinin yapılabileceği şehir bazlı tasarım analizlerinde,
- 5 m'lik çözünürlüğe sahip model, park alanlarının modellenmesinde veya mahalle bazında bir uygunluk sınıflandırmasında,
- Düşük çözünürlüklü görüntüler ise çok geniş rakamlar için bölgesel veya ulusal düzeyde yapılacak analizler için faydalı olabileceği düşünülmektedir. Daha yüksek çözünürlük ve daha geniş coğrafi alanlar içeren veriler kullanıldığında işlem süresi artmaktadır.



Şekil 4. (a) Aynı çözünürlükteki DTM, (b) DSM modelleri

Aynı çözünürlükteki (28 cm) DTM ve DSM modellerinin karşılaştırılabilmesi için güneş potansiyeli değerlerine sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. DTM ve DSM modelleri incelendiğinde (Şekil 4), DTM modelinin özelliğinden dolayı çalışma alanının güneş potansiyeli hakkında detaylı analiz yapılmasının mümkün olmadığı tespit edilmiştir. DTM'in aksine DSM modelinde ise çok daha detaylı çıkarım yapılabilir. DSM arazi ve cepheler için güneşlenmeyi hesaplamada kullanılabilirken, DTM ise cephelerde yetersiz kalmaktadır. Özellikle PV güneş panellerinin kurulumunda uygun yer tespiti için DSM'in kullanımı daha doğru sonuçlar alınmasında etkilidir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mersin ili gerek tarım gerekse turizm bakımından önemli illerden birisidir. Son yıllarda yoğun göç almakta ve nüfusu hızla artmaktadır. Bütün bu özelliklerini iyi yönetilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerji potansiyelinin Mersin için ortaya koyulması gerekmektedir. Yukarıda sayılan özellikler çok farklı ihtiyaçları bünyesinde barındırmaktadır (Tarımda sulama, bitki güneş ihtiyaçları vb. gibi) Bu nedenle sadece yıllık güneş enerji potansiyeli haritaları oluşturulması yeterli değildir. Günlük, aylık, saatlik haritalar üretilmeli, meteorolojik, antropolojik etkiler de değerlendirilmeli ve oluşturulan haritalar istatistiksel olarak ayrıca yorumlanmalıdır. Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen problem durumuna çözüm üretmek adına DEM verileri detaylı olarak değerlendirilmiş, güneş potansiyeli analizi gerçekleştirilmiştir.

İdeal bir güneş potansiyeli modeli, küresel, yerel, mekânsal, zamansal ve meteorolojik faktörlere göre değişen ışınımın hesaba katılması ile elde edilebilir. Daha yüksek çözünürlüklü DEM verilerinin çalışmada tercih edilmesi güneş potansiyeli analizi ile güneş panelleri inşa edilecek konumların belirlenebilmesinde büyük etkiye sahiptir. Güneş enerji santrallerinin yer seçiminde önemli kriterlerden birisi olan güneşlenme potansiyeli haritasının dikkatlice değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca oluşturulacak bu haritalar yardımı ile kentlerdeki artan enerji kullanımının israfına sebep olmadan verimliliğin artırılarak kullanılması sağlanabilir. Güneş enerjisi teknolojileri geliştikçe, güneş potansiyeli haritalamanın verimliliği giderek daha önemli hale gelmektedir. Gelişmiş mekânsal çözünürlüğe sahip DSM'ler daha kullanılabilir hale geldikçe, güneş potansiyelini hesaplamanın verimliliği ve doğruluğunun artırılması gerekmektedir.

Bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara çalışmalarında veri seti olarak DEM verilerine ek olarak antropolojik ve meteorolojik faktörlerin irdelenmesi güneş potansiyeli analizinin daha sağlıklı ve doğru sonuç vermesinde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir.

#### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma yüksek lisans öğrencisi Rabia Nagehan Bekçi'nin tezinin bir parçasını oluşturmaktadır.

#### Yazarların Katkısı

**Rabia Nagehan Bekçi:** Literatür taraması, analiz ve yorumlama, makale yazma. **Lütfiye Kuşak:** Kontrol, düzenleme, görselleştirme.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

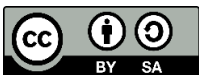
#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### KAYNAKÇA

- Arca, D. & Çitiroğlu, H. K. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik Dergisi*, 7(1), 17-25.
- Atmaca, M., Yusufoglu, G. & Kurtuluş, A. (2014). Güneş enerjili sulamanın tarım sektöründe uygulaması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(2), 142-153.
- Aydan C, Yaman N, Sabah L & Höke Onur (2016). Güneş Enerji Santrali Yer Seçiminde Açık Kaynak Kodlu CBS Kullanımı-Eskişehir İl Örneği. *VI. UZAL-CBS Sempozyumu, Adana, Türkiye*, 491-500.
- Bekçi, R. N., Zorlu, Ö. & Menekşe, E. (2022). Regression Analysis and Use of Artificial Neural Networks in Housing Valuation Forecasting: Case Example of Güneşevler Neighbourhood in Mersin. *Advanced GIS*, 2(1), 24-32.
- Bekçi, R. N. & Kuşak, L. (2022). Mersin İli Güneş Enerjisi Potansiyeli Analizi. *11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu. Mersin, Türkiye*.
- Bosch, J. L., Battles, F. J., Zarzalejo, L. F. & López0, G. (2010). Solar Resources Estimation Combining Digital Terrain Models and Satellite Images Techniques. *Renewable Energy*, Volume 35, Issue 12, 2853-2861.
- Çelik, M. Ö., Alptekin A., Ünel, F. B., Kuşak, L. & Kanun, E. (2020). The Effect of Different Flight Heights on

- Generated Digital Products: Dsm and Orthophoto. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 1-9.
- 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.
- Deng, M., Yang, W., Chen, C., Wu, Z., Liu, Y. & Xiang, C. (2021). Street-level solar radiation mapping and patterns profiling using Baidu Street View images. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103289.
- Dewanto, B. G., Novitasari, D., Tan, Y. C., Puruhito, D. D., Fikriyadi, Z. A., & Aliyah, F. (2019). Application of Web 3D GIS to Display Urban Model and Solar Energy Analysis using The Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Data (Case Study: National Cheng Kung University Buildings). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 520(1), doi:10.1088/1755-1315/520/1/012017.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55. <https://doi.org/10.26833/ijeg.378257>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S. & Von, S. C. (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. *Cambridge: Cambridge University*, press.10.1017/CBO9781139151153.
- EİGM (2021). Güneş. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>, Erişim Tarihi 12.05.2022.
- Eisenbeiss, H. (2003). Positions und Orientierungsbestimmung Eines Autonomen Helikopters - Vergleich Zwischen Direkter Georeferenzierung und Aerotriangulation mit Videobilddaten, Diploma Thesis, Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, *University of Technology*, 86, Dresden, Germany.
- Fu, P. & Rich, P. M. (1999, July). Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. *In Proceedings of the nineteenth annual ESRI user conference* (Vol. 1, pp. 1-31). USA: San Diego.
- Gültekin Y., Özemir, I., Uzar, M. & Şimşek, M. (2016). İnsansız Hava Araçları ile Ortofoto ve SYM Üretimi. *VI. UZAL-CBS Sempozyumu, Adana, Türkiye*, 310-318.
- Hastaoğlu, K. Ö., Göğsu, S. & Gül, Y. (2022). Determining the relationship between the slope and directional distribution of the UAV point cloud and the accuracy of various IDW interpolation. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 161-173.
- Huang, Z., Mendis, T. & Xu, S. (2019). Urban solar utilization potential mapping via deep learning technology: A case study of Wuhan, China. *Applied Energy*, 250, 283-291.
- Jung, J., Han, S. & Kim, B. (2019). Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on national highway slopes. *Applied Energy*, 242, 57-68.
- Kausika, B. & Sark, W. V. (2021). Calibration and Validation of ArcGIS Solar Radiation Tool for Photovoltaic Potential Determination in the Netherlands. *Energies*, 14, 1865.
- Kuşak, L., Ünel, F. B., Alptekin, A., Çelik, M. Ö. & Yakar, M. (2019). Modelling of a Landslide Site with Satellite and Uav. *Cilicia International Symposium on Engineering and Technology, Mersin, Turkey*, 771-775.
- Kuşak, L., Ünel, F. B., Alptekin, A., Çelik, M. Ö. & 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. doi:10.1515/geo-2020-0299.
- Nex, F. & Remondino, F. (2014). UAV for 3D Mapping Applications: a Review. *Applied Geomatics*. 6(1), 1-15.
- Oral M (2020). Solar energy potential of Turkey and evaluation of PV applications in local scale: Case of Karabük province. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, 42, 482-503.
- Owusu, P. A., Asumadu-Sarkodie, S. & Dubey, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990, 1-14.
- Paksoy, (2022). SenseFly eBee Plus. <https://paksoytekni.com.tr/paksoy-topcon/iha/sensefly-eebe-plus.html>, Erişim Tarihi 29.06.2022.
- 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.
- Ulvi, A., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö. & Alptekin, A. (2021). Detection of existing infrastructure lines with wearable laser scanners and making infrastructure map: a case of Mersin University. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 61-68.
- Vafaeipour, M., Zolfani, S. H., Varzandeh, M. H. M., Derakhti, A. & Eshkalag, M. K. (2014). Assessment of regions priority for implementation of solar projects in Iran: New application of a hybrid multi-criteria decision making approach. *Energy Conversion and Management*, 86, 653-663.
- Yakar, M., Yilmaz, H. M. & Mutluoglu, O. (2014). Performance of Photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning Methods in Volume Computing of Excavation and Filling Areas. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(1), 387-394.
- Yalçın, B. (2020). LIDAR (Lazer Görüntüleme Algılama ve Menzil). <https://mertmekatronik.com/lidar-laser-imaging-detection-and-ranging>, Erişim Tarihi 27.06.2022.
- Yiğit, A. Y. & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Zhang, Y., Ren, J., Pu, Y. & Wang, P. (2020). Solar energy potential assessment: A framework to integrate geographic, technological, and economic indices for a potential analysis. *Renewable Energy*, 149, 577-586.



© Author(s) 2022.

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



## Açık Maden Ocağında Hacim Hesabı için GNSS ve İHA Ölçümlerinin Karşılaştırıldığı Bir Çalışma Örneği

Adem Kabadayı\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Yozgat Bozok Üniversite, Şefaattli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Yozgat, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İHA,  
Fotogrametri,  
Maden sahası.

### ÖZ

Maden sahalarında uzun yıllar klasik yöntemle ölçümler yapılmıştır. Son zamanlarda insansız hava araçları (İHA) teknolojisindeki gelişmeler hız kazanmıştır. Haritacılık, tarım, sanayi ve çevre yönetimi gibi birçok alanda uygulamalarda etkin olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, madencilik sektöründe İHA teknolojileri etkin olarak kullanılmakta ve madencilik endüstrisinde 3B topografik haritalama için İHA'lar önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, geleneksel GNSS tekniklerine göre hacimsel ölçümler için İHA verilerinin doğruluğunu test etmeyi ve değerlendirmeyi amaçlanmaktadır. Bu amaçla uygun bir açık ocak ocağı seçilmiştir. İki set ölçüm yapıldı. İlk olarak GNSS teknolojileri ile stok ölçümü yapılmış ve daha sonra ocak sahasının modellenmesi için diğer GNSS ölçümleri alınmıştır. İkinci olarak, stok sahası da dahil olmak üzere tüm taş ocağı alanı bir İHA uçuşu ile haritalanmıştır.

## A Working Example Comparing GNSS and UAV Measurements for Volume Calculation in an Open Mine

### Keywords

UAV,  
Photogrammetry,  
Minefield.

### ABSTRACT

Measurements have been made with the classical method for many years at the mine sites. Recently, developments in unmanned aerial vehicles (UAV) technology have gained momentum. It is used effectively in applications in many fields such as cartography, agriculture, industry, and environmental management. In addition, UAV technologies are used effectively in the mining industry and UAVs play an important role for 3D topographic mapping in the mining industry. In this study, it is aimed to test and evaluate the accuracy of UAV data for volumetric measurements according to traditional GNSS techniques. For this purpose, a suitable open-hearth furnace was selected. Two sets of measurements were made. First, stock measurements were made with GNSS technologies, and then other GNSS measurements were taken to model the quarry area. Second, the entire quarry area, including the stockpile, was mapped by a UAV flight.

## 1. GİRİŞ

İHA, kültürel miras çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Kabadayı vd., 2020; Ulvi vd., 2019; Ulvi vd., 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 (Yakar vd., 2009), erişilemeyen jeolojik özelliklerin konumunu ölçmek (Yakar, 2011), kıyı şeridi tespiti (Ünel vd., 2020), hacim hesaplaması (Kaya vd., 2019; Erdoğan & Mutluoğlu, 2020) gibi birçok mühendislik projesinde kullanılmıştır.

Dünyamızın ne kadar dinamik olduğu düşünülürken, birçok alanda yeni teknikler ve yöntemler sunulmalıdır. Örneğin, bir açık maden ocağının yönetimi, zamanla sürekli değişen büyük miktarda bilginin elde edilmesini, işlenmesini ve depolanmasını gerektirir (Yakar, 2009; Yakar & Yılmaz, 2008). Bir maden ocağında gerçekleşen süreçle ilgili ölçümlerin hızlı ve hassas bir şekilde alınması önem arz etmektedir (Kabadayı, 2022). Bu süreçlerin objektif bir şekilde değerlendirilmesi, güncel teknolojilerin kullanılması sonucunda güvenilir bilgiler elde edilmektedir. GNSS teknolojileri ile son derece hassas ölçümler yapılabilir, ancak bu gerçekten zaman alıcı olabilir. Öte yandan, İHA fotogrametrisi, geniş alanların haritalanması ve stok hacimlerinin hesaplanması için hızlı ve doğru bir yöntem sunar (Yakar, 2011; Alptekin & Yakar, 2020b; Hamal, 2022). Aynı zamanda, İHA fotogrametrisi son zamanlarda çok sayıda mühendislik alanı arasında popülerliğini artırmıştır. İHA'lar haritalama ve fotogrametrik görevlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Aynı zamanda, jeodezik çalışmalar ve maden sahalarında malzeme stok hacim hesaplamaları gibi gereksinimlerin karşılanmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Bir ocağın mevcut durumu hakkında bilgi edinmenin çeşitli yolları vardır. Bunlar, klasik jeodezik ölçüm yöntemi, GNSS teknikleri, yersel ve hava fotogrametrisi gibi ölçümlerdir (Ceylan & Uysal 2021; Hamal vd., 2021). Bir ocağın etkin yönetimi, sonuçların belirli bir mevzuata uygun olması gereken hızlı ve doğru verileri gerektirir. Bir açık ocak hakkında güncel bilgilerin elde edilmesi, ocağın sürekli değişen şeklinin, kademeli yükseklikleri, eğimler vb. gibi unsurlarının sürekli olarak araştırılmasından ve çıkarılan ham madde 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 (Mazhrakov, 2007; Yakar & Doğan, 2019). 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 ölçme teknikleri arasındaki boşluğu kapatmaktadır. İHA teknikleri, hava ve yer fotogrametrisini birleştirir, aynı zamanda klasik yöntemlere düşük maliyetli alternatifler sunar (Yakar & Doğan, 2017; Carvajal, 2011; Hamal vd., 2022).

Bir fotogrametrik model prensipte ölçeksizdir, konumu tespit edilmemiş ve uzayda yerleştirilmemiştir. En yaygın olarak yer kontrol noktaları (YKN'ler)

kullanılarak yapılan pratik kullanım için coğrafi referanslandırılması ve ölçeklendirilmelidir. YKN'lerin sayısına ve konumuna bağlı olarak ortaya çıkan fotogrametrik modelin doğruluğuna odaklanan pratik incelemeler ve testler içeren birçok çalışma yayımlandı, örneğin, (Yakar vd., 2005; Yiğit & Ulvi, 2020; Erdoğan vd., 2021). Ayrıca, yalnızca yerleşik sensörlerden (en yaygın olarak jiroskoplar ve GNSS-RTK alıcısı) gelen verileri kullanarak modele coğrafi referans vermek de mümkündür. Bununla birlikte, yalnızca GNSS RTK verilerinin kullanılması, iç yönlendirme öğeleriyle ilgili belirli problemlerle ilişkilidir (Štroner vd., 2020; Przybilla vd., 2020; Hamal vd., 2020) ve bu nedenle, YKN'lerle bu tür veriler bile genellikle yalnızca kombinasyon halinde kullanılır (Yakar & Yılmaz, 2008; Uysal vd., 2015). Hacim hesaplamaları genellikle enine kesitler, prizmalar, yüzey tesviye ölçüleri ve kontur haritaları kullanılarak yapılır (Yılmaz vd., 2008; Yakar vd., 2009). Hacim hesaplamalarında yükseklikler söz konusu olduğu için yüksek doğruluğa ihtiyaç vardır. Ancak, çok hassas jeodezik ölçümler son derece zaman alıcı olabilir. Öte yandan, fotogrametrik tekniklerle, geniş alanlar bir saatten kısa sürede yüksek ayrıntılarla kaplanabilir (Patikova, 2004; Yakar vd., 2015). Klasik yöntemlere kıyasla yakın mesafe fotogrametrisi verimli ve hızlı bir yöntemdir. Yeryüzüne ait verilerin toplanması için gereken süreyi önemli ölçüde azaltabilir. Hacim hesabının doğruluğu, arazi yüzeyinin gösterimi ile orantılıdır. Yüzeyin gösterimi ise yükseklik farklarını detaylı olarak ifade eden bağlantılı noktaların sayısına, bunların dağılımına ve enterpolasyonuna bağlıdır. Yazılım teknolojisindeki gelişmeler sayesinde arazi yüzeylerinin çeşitli enterpolasyon yöntemleri ile daha iyi ifade edilmektedir. (Yakar & Yılmaz, 2008; Yılmaz, 2010; Yakar vd., 2010).

Bu makale, İHA fotogrametrisi ile alınan veriler ve GNSS ölçümleri ile elde edilen verilerden hesaplanan hacimler incelenmiştir. Maden mühendisliği ihtiyaçları için bazı özel durumlarda İHA fotogrametrisinin klasik GPS ölçümleri üzerindeki önemini açıklar niteliktedir.

## 2. MATERYAL

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler sayesinde, farklı özelliklerde ve farklı uygulamalar için çok sayıda İHA platformu sunmaktadır. İHA'lar genellikle sabit kanatlı İHA ve döner kanatlı İHA iki büyük gruba ayrılabiliriz. Sabit kanatlı platformlar, döner kanatlı İHA'lardan nispeten daha esnek ve kontrol edilmesi kolaydır (Petrie, 2013). Belirli çalışma durumu için, önceden ayarlanmış uçuş planı ve kararlı kontrol ile sürekli bir doğrusal uçuş gereklidir. Çalışma için seçilen platform sabit kanatlı eBee'dir (Şekil 1). Platformdaki kamera Canon S110, sensörün boyutu 7.44x5.58mm ve 12MP çözünürlüğe sahip ve GPS alıcısı vardır. Cihazda bir GPS alıcısının bulunması, fotoğrafların coğrafi koordinatlara sahip olmasını sağlar.



Şekil 1. eBee insansız hava aracı

Son yirmi yıldır GNSS teknolojileri jeodezik ölçümler için dünyanın ayrılmaz bir parçası haline geldi. GNSS alıcıları çok çeşitli amaçlarda kullanılabilir. Genellikle mühendislik projeleri için CORS veya RTK alıcıları kullanılır. Çalışma için kullanılan GPS alıcısı HI-TARGET olup, kod ve faz ölçümleriyle gerçek zamanlı olarak ölçüm yapma imkânı vardır (Şekil 2). VTR (Sanal Referans İstasyonu) rejimi kullanıldı. GPS alıcısı, üretici tarafından belirtilen doğrulukla ilgili olarak  $-8\text{mm} + 0,5\text{ppm}$  yatay ve  $15\text{mm} + 0,5\text{ppm}$  dikey teknik parametrelere sahip çift frekanslı bir cihazdır. Sanal Referans İstasyonu rejimi için gerçek zamanlı kinematik mod, aralarında yaklaşık 70 km mesafe bulunan en az 5 referans istasyonu gerektirir. Referans istasyonları sürekli olarak uydu sinyallerini merkezi bir sunucuya göndermektedir. Ölçümlerin düzeltilmesi bu sunucu tarafından üretilir ve GPS, ölçülen noktaların düzeltilmiş koordinatlarını alır. (SmartBul.Net, 2015)

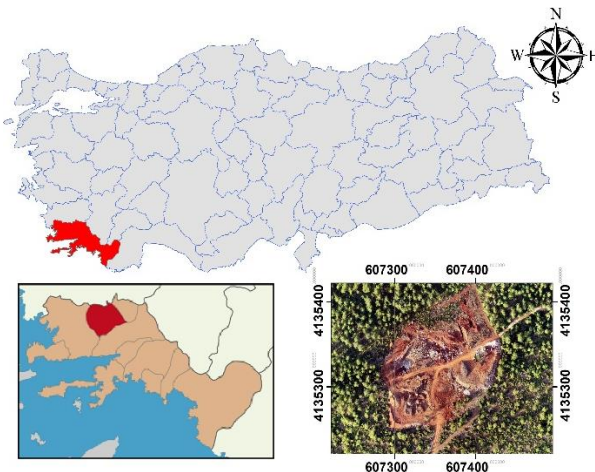


Şekil 2. GNSS alıcısı

Uçuş planı, eBee platformunun bir parçası olduğu için eMotion'da belirlendi. Fotogrametrik görüntü verileri Pix4Dmapper 'da işlendi. Pix4Dmapper, Sayısal Arazi Modeli (SAM)'nin otomatik olarak ilk işlenmesini ve oluşturulmasını sağlar. İHA verilerinin hacimsel hesaplamaları da Pix4Dmapper'da işlendi. GNSS ölçümlerinden elde edilen hacim Netcad yazılımındaki Netpro modülü kullanıldı.

### 2.1. Çalışma Alanı

Taş ocağı, Türkiye'nin Muğla ili yatağan ilçesinin doğusunda yaklaşık 8 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 3)



Şekil 3. Çalışma Alanı

## 3. İHA UÇUŞ ve VERİ İŞLEME

Bu çalışma dört temel aşamaya ayrılmıştır: 1. Aşama ön çalışma, 2. Aşama veri toplama, 3. Aşama veri işleme ve 4. Aşama veri analizi ile ilgilidir. Saha keşif aşamasından sonra uçuş planlaması yapılır.

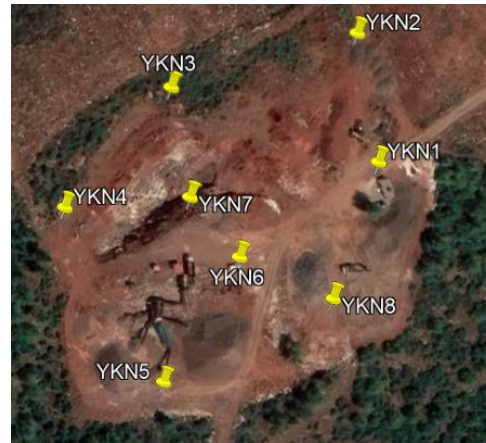
### 3.1. İHA Uçuş Planlaması

Uçuş planı 1,8 cm/piksel yer çözünürlüğü ve görüntülerin %75 enine bindirme ve %70 boyuna bindirme olarak belirlendi. Bindirme oranları normalden fazla olarak ayarlandı. Bunun sebebi, görüntülerde belirlenecek bağlama nokta sayısının fazla olmasının gerekliliğidir. İHA yaklaşık 118 m yükseklikte 27 dakika boyunca havadan görüntüleri alarak uçuşu tamamlamıştır.

### 3.2. Yer Kontrol Noktalarının Tesisi

YKN (Yer Kontrol Noktası), fotoğrafların rektifikasyonu sırasında model koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi arasında ilişkinin kurması ve koordinat dönüşümünün yapılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle YKN dağılımının ortofoto ve üretilen verilerin konum doğruluğunu etkilemektedir.

Uçuştan önce 8 adet YKN noktası (taş ocağının çevresine 6 adet ve taş çığının içerisine 2 adet) yerleştirildi (Şekil 4). Noktaların mümkün olduğunca çok görüntüde görülebilmesi için uçuş hatları genişletilerek taş ocağı dışında daha fazla arazinin fotoğraflarını çekilmesi sağlandı. YKN koordinatları, CORS-TR bağlantısı olan GPS alıcısı tarafından ölçülmüştür.



Şekil 4. YKN'lerin dağılımı

### 3.3. Görüntü İşleme

eBee uçuşu sonucunda 93 adet coğrafi koordinatlara sahip fotoğraf elde edilmiştir. Fotogrametrik veriler Pix4Dmapper yazılımı ile işlendi. İlk işlem 18 dakika sürdü. 93 görüntünün tümü işlendi ve elde edilen Yer Örnekleme Mesafesi 1.52 cm'dir.

İlk işlemenin gerçekten çok önemli bir adımı kamera kalibrasyonudur. Kalibrasyon işlemi kamera parametrelerini optimize eder. Pix4Dmapper yazılımı, bağlantı nokta eşleşmelerini kullanarak kameraları yönlendirir. Bu sayede fotoğrafların model koordinatları bağlantı noktalarının sayesinde ve kamera geometriside kullanılarak hesaplanır.

### 3.4. Fotogrametrik Modelin Doğruluğu

Model koordinat sistemi ile jeodezik sistem arasındaki dönüşüm için teorik olarak en az üç yer kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Çalışma örneğinde olduğu gibi, çalışma alanının uçlarında ve ortasında YKN'ler hesaplamalara dahil edilerek görüntü eşleştirmede hata oluşması önlenabilir. YKN'lerin doğruluğu, doğruluğun taraflı olarak tahmin edilmesidir. Yani, ilk dengelemeden sonra modelin doğruluğunu değil, YKN noktalarının fotoğraf üzerinde işaretlenmesinin doğruluğunu göstermektedir. Bu yüzden kontrol noktaları eklenmiştir. Kontrol noktası bir orta ve birde kenardan seçilmiştir. Kontrol noktaları modelin doğruluğunu gösterir. Tablo 1, yer kontrol noktalarının işaretlenmesinin doğruluğunu göstermektedir. Tablo 2'te, modelin iki kontrol noktası ile gösterilmesi durumunda gerçek doğruluk.

**Tablo 1.** YKN'lerin doğruluğu

YKN No	s0XY/Z	sX [m]	sY [m]	sZ [m]
YKN2	0.020/0.020	-0.005	-0.004	0.000
YKN3	0.020/0.020	0.000	0.002	-0.003
YKN4	0.020/0.020	0.000	-0.005	-0.001
YKN5	0.020/0.020	-0.002	-0.004	0.002
YKN7	0.020/0.020	0.001	0.024	0.002
YKN8	0.020/0.020	-0.002	0.006	0.001
<b>Mean (m)</b>		0.000	0.000	0.000
<b>Sigma (m)</b>		0.007	0.013	0.017
<b>RMS Error (m)</b>		0.007	0.013	0.017

**Tablo 2.** Kontrol noktalarının doğruluğu

Nokta No	s0XY/Z	sX [m]	sY [m]	sZ [m]
YKN1	0.020/0.020	-0.017	-0.016	-0.008
YKN6	0.020/0.020	-0.015	-0.007	-0.002
<b>Mean (m)</b>		0.000	0.000	0.000
<b>Sigma (m)</b>		0.016	0.013	0.006
<b>RMS Error (m)</b>		0.016	0.013	0.006

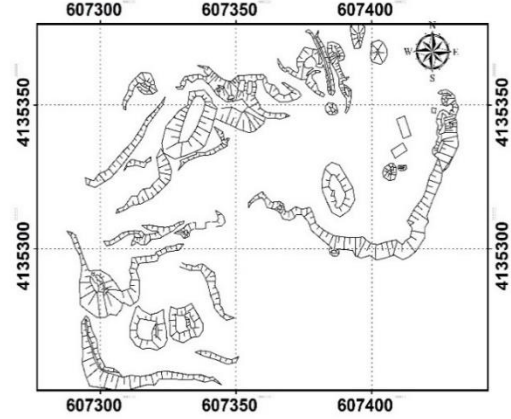
Fotogrametrik sürecin ikinci adımı olan Nokta Bulutu Yoğunlaştırma işlemi 14dk.30sn sürmüştür. 8dk32sn için bir 3D dokulu ağ oluşturuldu. Bu, hacimsel hesaplamaya geçmeden önce önemli ve zorunlu bir adımdır. Sonuç olarak, fotogrametrik verilerin işlenmesi için tahmin edilen toplam süre, SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve ortophoto oluşturma dahil yaklaşık 40 dakika olmuştur (Şekil 5).



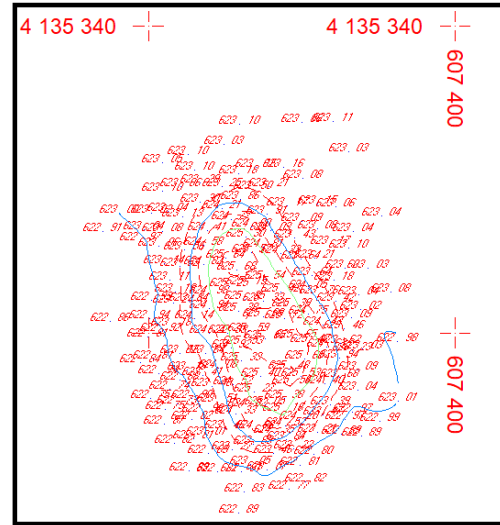
**Şekil 5.** Ortophoto ve Sayısal Arazi Modeli gösterimi

### 3.5. GPS ölçümleri

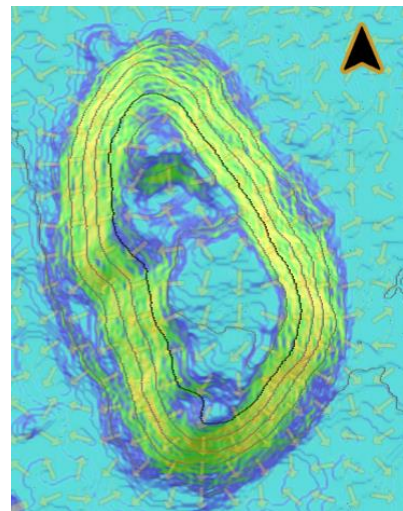
GNSS alıcısı ile ilk olarak saha içerisindeki stok ölçümü yapıldı. Daha ocak sahası içerisinde palyeler, yollar ve diğer detay ölçümleri yaklaşık 3 saatten fazla bir sürede tamamlanmıştır. Toplam 350 nokta ölçülmüştür (Şekil 6). Stoğun ölçümü DDD noktadan oluşmaktadır. Stok yığınının gerçek yüzeyini doğru bir şekilde tamamlamak için eğim değişimlerinden ve sık olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 7). Stok yerinin eğim haritasının gösterimi Şekil 8'de sunulmuştur.



**Şekil 6.** Taş ocağının tamamının planı



**Şekil 7.** Stok yerinin GNSS ile yapılan ölçüm verileri

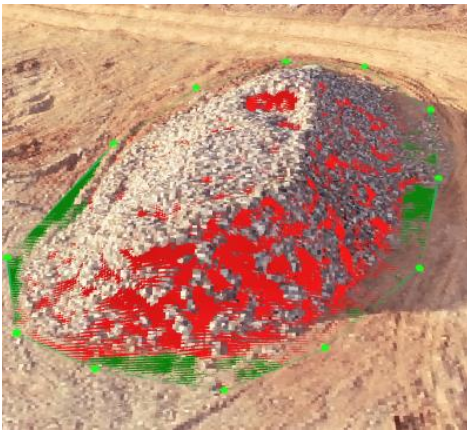


**Şekil 8.** Stok yerinin eğim haritası

## 4. HACİM HESAPLAMASI

### 4.1. Fotogrametrik uçtan stok hacminin hesaplanması

Temel olarak herhangi bir fotogrametrik yazılımda bir nesnenin hacmini hesaplama ilkeleri, geleneksel yöntemlerden biraz farklıdır. Bir Yoğun Nokta Bulutu oluşturulmadıkça, Pix4D herhangi bir hacmi hesaplayamaz (Pix4D, 2015). Hacim hesaplamasında bir taban yüzeyi gereklidir, bu nedenle, bir hacim nesnesi oluştururken stok yığını, köşeleri bilinen X, Y ve Z koordinatlarına sahip bir 3B çoklu çizgi ile çevrelenir. Ölçmekte olduğumuz stok yığını 12 köşe ile çevrelenmiştir (Şekil 8). Yazılım, kendisi zemin örnekleme değerlerini hesaplayarak taban yüzeyinin bir ızgara ağını oluşturur. Taban yüzeyi ile mevcut yüzey arasında programın hesapladığı hacim değerleri Tablo 3'te sunulmuştur.



Şekil 9. Stok alanının Pix4D görünümü

Tablo 3. Pix4D programı ile hesaplanan hacim

Yarma hacmi	244.84 m3
Dolgu hacmi	0.62 m3
Toplam hacim	244.22 m3

### 4.2. GNSS ölçümlerinden stok hacminin hesaplanması

Netcad yazılımında stok hacmini hesaplamak için GNSS ile yapılan ölçüm noktalarından üçgen model yöntemi ile yüzey oluşturuldu. Pix4D'de belirlenen stok etrafından alınan 12 noktadan ayrı bir yüzey oluşturulmuştur. Hacim hesaplaması için iki yöntem vardır. Birinci yöntem belirli aralıklar ile kesit alınarak kesitlerden hacim hesabı yapılır. İkinci yöntem belirli bir referans kot yüzeyi kullanılarak oluşturulan yüzeydeki her bir üçgenin referans kot ile arasındaki hacim hesaplanır. Bu işlem hacmi hesaplanana kadar devam eder. Burada ikinci yöntem ile hesaplama yapılmıştır. GNSS yöntemi ile alınan noktalardan oluşturulan yüzeyin, hacim hesabı yapılacak alan içerisinde, belli bir referans kot ile arasındaki hacim hesaplandı. Daha sonra Pix4D'de belirlenen alt yüzey ile belli referans kot arasında kalan hacim hesaplandı. İki hacim arasındaki fark toplam hacmi vermekte ve 241.15 m3 olarak hesaplandı.

### 4.3. İHA VE GPS Hacimleri Arasındaki Karşılaştırma

Karşılaştırmanın tahmini doğruluğu %3 olması beklenir. 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. Ölçümlerin sadece çalışma durumu ile ilgili olarak yapıldığı göz önüne alındığında, karşılaştırmada %3'ten daha az bir fark elde etme gereklilikleri belirlenmiştir (Mazhdakov, 2007).

Verilere ulaşmanın farklı yöntemleri için hacimlerde herhangi bir farklılık beklemek gerçekçi değildir. İHA uçuşundan gelen hacmin daha yüksek bir değer olduğu ortaya çıktığı için hesaplanan fark 143.99m<sup>3</sup>'tür. Bu fark ne kadar büyük görünse de, yüzde olarak sunulduğunda daha doğru olacaktır. Hedefimiz yaklaşık 7.23 m<sup>3</sup> olan %3'ten daha küçük bir fark olduğundan, sonuçlar %1,1'lik bir hacim farkı ortaya koymaktadır.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada günümüzde sürekli gelişme gösteren İHA uygulamalarında stok hacimlerinin hesaplanabilirliği araştırılmıştır. Veriler iki farklı yöntem ile elde edildiğinden aynı stoğun iki farklı hacmi hesaplanmıştır. İHA verilerinden alınan hacim 244.22m<sup>3</sup> ve GNSS noktalarından alınan hacim 241.15m<sup>3</sup>'tür. Sonuç olarak, İHA hacminin 3.07m<sup>3</sup> ile daha büyük olduğu ortaya çıktı. Toplam miktardan %1,3 fark olacak farkı yüzde olarak ifade etmek daha uygundur.

İHA ile veri toplamanın GNSS alıcısı ile veri toplamaktan daha hızlı olduğu gözlemlenmektedir. Ocağın tüm alanının yaklaşık 3 saatlik GNSS ölçümlerine kıyasla İHA ile 40 dakika gibi bir sürede veri toplaması yapılmıştır. Kübaj hesaplamasındaki elde edilen doğruluk, çalışmanın hedefi olan  $\pm$ %3'lük hata sınırı içerisinde. Ayrıca, çalışmanın ana amaçlarından diğeri, maden sahalarında İHA fotogrametrisinin tartışmasız uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, İHA teknolojilerinin büyük ölçüde gelişeceği gerçeğini göz önünde bulundurmalıyız, bu nedenle gelecekteki bazı analizler daha iyi sonuçlara ulaşılacağı ön görülmektedir. Özetlemek gerekirse, makale, hacimsel ölçümler söz konusu olduğunda insansız hava fotogrametrisinin kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

### 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. (2020a). Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.



- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020b). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1), 17-21.
- 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.
- Carvajal, F., Agüera, F. & Pérez, M. (2011). Surveying a landslide in a road embankment using unmanned aerial vehicle photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1/C22), 201.
- 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
- Erdoğan, A. & Mutluoğlu, Ö. (2020). İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilen Şeritvari Haritalardan Kübaj Hesabı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 61-66.
- Erdoğan, A., Kabadayı, A. & Akin, E. S. (2021). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabiyik Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (1), 23-27. DOI: 10.51534/tiha.911147
- Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (2), 55-60.
- Hamal, S. N. G., Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2021). Three-Dimensional Modeling of an Object Using Underwater Photogrammetry. *Advanced Underwater Sciences*, 1(1), 11-15.
- Hamal, S. N. G., Ulvi, A., Yiğit, A. Y. & Yakar, M. (2022). Su Altı Yapılarının 3B Modellemesi ve Dokümantasyonunda Kullanılan Video ve Fotoğraf Çekimi Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12 (4), 2262-2275.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- 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.
- 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.
- Mazhrakov, M. (2007). Mine Engineering. *Sofia: Sofia University*.
- 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
- Patikova, A. (2004). Digital photogrammetry in the practice of open pit mining. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 34, 1-4.
- Pix4D. 2015. www.support.pix4d.com. How Pix4Dmapper calculates the Volume? [Online] Pix4D, 2015. https://mapper.pix4d.com/.
- SmartBul.Net. 2015. http://www.smartnet.bg/. SmartBul.Net. [Çevrimiçi] 2015.
- 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. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2 (1), 11- 17.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. Conference of the Arabian Journal of Geosciences, Hammamet, Tunisia, 73-75.
- 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. & Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B3b.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Exp Tech*, 35, 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.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, O. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(2), 086-096.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, H. M., (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara
- Yiğit, A. Y. & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Yakar, M., Yıldız, F. & Yılmaz, H. M. (2005). Tarihi ve Kültürel Mirasların Belgelenmesinde Jeodezi Fotogrametri Mühendislerinin Rolü. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yılmaz, H. M. & Yakar, M. (2008). Computing Of Volume Of Excavation Areas By Digital Close Range Photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78
- Yılmaz, H. M. (2010). Close range photogrammetry in volume computing. *Experimental Techniques*, 34(1), 48-54.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M. & Yıldız, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.





## Karayolu Projelerinde Güzergah Haritalarının İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilmesi

Fatih Tükenmez\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karayolları 5. Bölge Müdürlüğü, Etüt Proje ve Çevre Başmühendisliği, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

İHA,  
Sayısal Arazi Modeli,  
Fotogrametri,  
Karayolu Proje.

### ÖZ

Günümüzde modern ölçme sistemleri arasında yer alan İnsansız Hava Araçları (İHA) lar, son zamanlarda birçok kullanım alanları olduğu gibi karayolu projelerinde de kullanılmaktadır. Karayolu projelerinde, proje güzergahı yatay (aliyman-kurb) ve düşey (profil-boykesit) hatlarının geometrik elemanlarının hesaplanması ve sonrasında toprak hareketi olarak da ifade edilen kazı dolgu miktarlarının (kübaj) belirlenmesi, proje altlığı olan sayısal hâlihazır haritaların doğruluğu ve hassasiyeti ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada İnsansız Hava Aracı ile elde edilen verilerden karayolu projelerine altlık olan güzergah haritalarının (şeritvari) yapımına yönelik bir araştırma yapılmıştır. Çalışma alanı olarak Karayolları 5.Bölge Müdürlüğü yol ağında bulunan Mersin-Fındıkpınarı İl Yolu proje güzergahının yaklaşık 2 km lik bir kesimi kullanılmıştır. Çalışma alanında belirlenen güzergahın yaklaşık 100 m sağ ve 100 m solunda 200 m genişliğinde bir koridorda önceden belirlenen uçuş planı doğrultusunda İHA ile 195 m yükseklikte %70 enine, %85 boyuna bindirmeli görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerin fotogrametri teknikleriyle değerlendirilmesi sonucu belirlenen koridorun Sayısal Arazi Modeli ve Güzergah Haritası üretilmiştir. Çalışma alanının önceden yersel yöntemle elde edilen yüksek doğruluklu 1/1000 ölçekli halihazır haritası ile İHA fotogrametri yöntemi ile üretilen halihazır haritası arasında belirlenen ortak bir alanda örnek karayolu projesi uygulaması ile hacim hesabı yapılmış olup çalışma alanı içerisinde farklı iki alanda kesit kontrolü yapılarak her iki yöntemle üretilen SAM (Sayısal Arazi Modeli) karşılaştırılmıştır. Ayrıca referans olarak kullanılan YKN'na ilave olarak sahada detay noktaları koordinatları RTK GPS tekniği ile ölçülerek üretilen ortofoto haritanın konum doğruluğu ve iki yöntem arasında yaklaşık maliyet karşılaştırması yapılmıştır.

## Production of Route Maps in Highway Project by Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

### Keywords

UAV,  
Digital Terrain Model,  
Photogrammetry,  
Highway Project.

### ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), which are among the modern measurement systems today, have been used in highway projects as well as many areas of use recently. In highway projects, the calculation of the geometric elements of the horizontal (aliyman-curb) and vertical (profile-long-section) lines of the project route, and then the determination of the excavation filling amounts (cubage), also expressed as soil movement, directly with the accuracy and precision of the digital existing maps is related. In this study, a research has been carried out for the production of route maps (strip data) that are the basis for highway projects from the data obtained by the Unmanned Aerial Vehicle. Approximately 2 km of the Mersin-Fındıkpınarı Provincial Road project route, located in the road network of the 5th Regional Directorate of Highways, was used as the study area. In line with the pre-determined flight plan, 70% transverse and 85% longitudinal superimposed images were taken with the UAV at an altitude of 195 m in a 200 m wide corridor approximately 100 m to the right and 100 m to the left of the route determined in the study area. As a result of the evaluation of these images with photogrammetry techniques, a Digital Terrain Model and Route Map of the determined corridor were produced. In a common area determined between the high-accuracy 1/1000 scale baseline map of the study area obtained by the terrestrial method and the baseline map produced by the UAV photogrammetry method, the volume calculation was made with the application of a sample highway project. DTM (Digital Terrain Model) has been compared. In addition to the YKN used as a reference, the location accuracy of the orthophoto map produced by measuring the coordinates of the detail points in the field with the RTK GPS technique and an approximate cost comparison between the two methods were made.

\* Sorumlu Yazar (\*Corresponding Author)

(f.tukenmez@hotmail.com) ORCID ID 0000-0002-1846-7499

Kaynak Göster (APA) / Cite this;

Tükenmez, F. (2022). Karayolu Projelerinde Güzergah Haritalarının İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilmesi. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(2), 58-72

## 1. GİRİŞ

Ulaşım genel olarak yolcuların ve eşyaların yer değiştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Ulaşım yollarından birisi olan karayolu ise yolcuların ve eşyaların güvenli, hızlı, konforlu bir şekilde taşınması için trafik akışına imkan sağlamak üzere kamunun yararlanmasına açık olan arazi şeritleri, köprüler, tüneller, her türlü sanat yapıları, korum yapıları ve diğer alanlardır (Yakar, 2011; Hamal, 2022; Kabadayı, 2022). Karayolları geçmişte olduğu gibi günümüzde toplumların kalkınmalarına refaha ulaşmalarında büyük payı bulunmaktadır (Yakar ve Doğan, 2017; 2019; Yiğit vd., 2020). Büyük bir yatırımla gerçekleştirilen bu sistemin ülke ekonomisine katkıda bulunabilmesi karayolu güzergahının uygun seçilmesine, yapım, bakım ve işletme masraflarının düşük olmasına bağlıdır (Ulvi vd., 2019; Kaya vd., 2019; Erdoğan vd., 2021). Bu bakımdan karayolunu kullananlara onu teşkil eden öğelerinin çok iyi etüd edilmesine ve bilinmesine ihtiyaç vardır (Yakar vd., 2010; Yılmaz & Yakar, 2008).

Ulaşım Mühendisliği (Yol Mühendisliği) son zamanlarda karayolu projelendirme ve yapım konularında ele alındığında kendi başına bir bilim dalı olarak görülmektedir (Yılmaz, 2010; Yakar vd., 2015). Bu yönüyle yol(ulaşım) mühendisliği; Harita mühendisliği, inşaat mühendisliği jeoloji ve jeofizik, çevre mühendisliği, şehir planlaması gibi bilim dallarının ve mesleklerin temel mühendislik bilgilerini kullanan bir mühendislik bilim dalıdır (Yakar, 2008; Yakar & Yılmaz, 2009; Ulvi vd., 2020; Yiğit ve Ulvi, 2020).

Harita ve Harita Mühendislik hizmetleri tüm yatırım ve mühendislik hizmetlerinin altyapısını oluşturmaktadır. Karayolu projelerinde de harita mühendislerinin yoğun ve önemli işlevleri vardır. Güzergah etüdü, sayısal hâlihazır harita üretimi, aplikasyon (piketaj), yol platformunun teşkil edilmesindeki tüm aşamalarda arazi çalışmalarında, halihazır haritaların tamamlanmasına müteakip uygun yazılımlar kullanılmak suretiyle uygulama projesi çalışmalarında (plan, profil, enkesit, kübaj hesabı vb.) ofis çalışmalarında görev almaktadırlar.

Karayolu projelerine altlık olarak kullanılan halihazır haritalar yaklaşık 200 m genişliğinde bir koridoru kapsayan üzerinde dere, tepe, yol, ENH, vs. yapıların gösterildiği şeritvari haritalardır. Söz konusu halihazır haritalarda karayolu proje güzergahlarında kritik arazi kesiti olarak tanımlanan dere, hendek, şev vs. kesitlerin gerçek araziye yansıtması ve toprak hacim miktarlarının doğru hesaplanması için halihazır harita sayısal yükseklik modeli hassasiyetinin yüksek doğrulukta olması önem arz etmektedir (Yılmaz vd., 2008; Kök, 2019; Hamal vd., 2022)

Karayolu güzergah haritalarının ve sayısal arazi modelinin üretiminde, genellikle işçilik yoğunluklu geleneksel yersel yöntemler ya da klasik hava fotogrametrisi kullanılmaktadır (Alptekin vd., 2020a; 2020b; Ünel vd., 2020). Bu yöntemlerin yanında günümüzde ileri teknoloji uzaktan kumanda edilebilen İHA (İnsansız Hava Araçlarının) kullanılması zaman ve işgücü bakımından da değerlendirildiğinde önem arz etmektedirler.

Karayolu insan eliyle insanlığa yapılan en önemli altyapı yatırımlarından birisidir. İnsanoğlunun ortak

mekânı, toplumların ileriye yolculuğudur. Yolların tarihi ilk insanla başlar, geçmişten geleceğe doğru gelişerek uzar gider. Bu nedene yol bir ülkenin kalkınmasına, toplumun sosyo-ekonomik gelişimine temel oluşturan en önemli altyapıdır.

Karayollarında özellikle dağlık ve girilemeyen sık ormanlık alanların isabet ettiği güzergahlarda İHA teknolojisinin kullanılması kısa sürede az maliyetle harita üretilmesine olanak sağlamaktadır. Karayollarında İHA' lar; proje güzergahlarının sayısal halihazır haritalarının üretilmesi, heyelan alanlarının haritasının üretilmesi, kavşak alanlarının haritasının üretilmesi vb. uygulamalarda sıkça kullanılabilir. Ziba ve Yılmaz (2019), yaptıkları çalışmada (İHA)

insansız hava aracı kullanarak Çankırı Belediyesi yol çalışması kapsamında da 1/1000 ölçekli bir şeritvari harita üretilmiştir. Bu üretim esnasında yer kontrol ve baz noktaları için GPS olarak TOPCON GR3, hava fotoğrafı verisi elde etmek için İHA olarak Dji Phontom 4pro, dengeleme işlemi için AgiSoft, çizimde ise Leica Photogrammetry Suite ve Microstation V8i kullanılmıştır. İHA ile yapılan ölçüm sayesinde fazla detaylı yapıların haritalanmasında fotografik verilerin kolaylık sağladığı görülmüştür. Maliyet değerlendirmesi yapılarak yersel ölçüm tekniklerinin söz konusu haritanın üretilmesinde yüksek maliyet getirdiği sonucuna varılmıştır. Doğruluk bakımından inceleme yapılması için arazide RTK yöntemi ile yapılan kontrol ölçüleri ve harita üzerinden yapılan ölçüler kullanılmıştır. Konum doğruluğu için gerekli detay alımları yapay yapılardan alınırken, kot doğruluğu için arazi alanından boş kot okunmuştur. Bu verilerin kıyaslanması sonucunda, y koordinatlarında (sağa)  $\pm 1,5$  cm hata bulunurken, x koordinatlarında (yukarı)  $\pm 1$  cm hata bulunmuştur. Ortalama konum hatası ise  $\pm 1,25$  cm bulunmuştur. Ayrıca ortalama kot hatasının  $\pm 1,2$  cm olduğu görülmüştür.

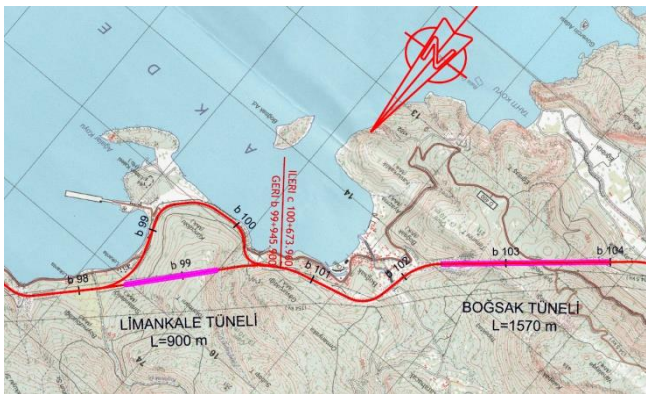
Seki vd. (2017), yaptıkları çalışmada hacim (küba) hesaplamalarında jeodezik ve fotogrametrik yöntemlerin kullanıldığından, teknolojinin gelişmesiyle birlikte İHA' nın hacim hesaplarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada Mayıs 2016 ve Kasım 2016 tarihlerinde yapılan yersel ölçümlere paralel olarak İnsansız hava aracı (İHA) kullanılarak fotogrametrik yöntemle ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Yersel ölçümler GPS ile yapılmıştır. Fotogrametrik ölçümlerde ise İHA (DJI Phantom 3 Pro) kullanılmıştır. Fotogrametrik ölçümler sonucu Mayıs ayında yer örnekleme aralığı (GSD) 4.18 cm, Kasım ayında ise 3.95 cm olmuştur. Fotogrametrik ölçüm sonuçlarında toplanan verilerin değerlendirilmesi yapılarak Mayıs ve Kasım aylarında 507 m<sup>3</sup> kazı 61000 m<sup>3</sup> dolgu değerlerine ulaşılmıştır. Ulaşılan sonuçlar yüzey karşılaştırmaları yapılarak fotogrametrik ölçümlere paralel yapılan yersel ölçümlerle karşılaştırılmış ve yersel ölçümlerle tutarlı sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Erdoğan (2016), yaptığı çalışmada İnsansız Hava Araçlarıyla elde edilen verilerden şeritvari harita yapımına yönelik bir araştırma yapmıştır. Çalışma alanı olarak Karayolları 3. Bölge Müdürlüğü çevre yolu projesi üzerinde yaklaşık 2 km'lik bir güzergah seçmiştir. Bu güzergah üzerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) ile 70m yükseklikten %70 bindirme ile görüntüler alınmıştır. Bu görüntülerin değerlendirilmesiyle elde edilen Sayısal

Yükseklik Modelinden (SYM) yaralanarak halihazır harita oluşturmuştur. Bu çalışma içerisinde yüksek doğrulukta elde edilen halihazır harita ile 1/1000'lik fotogrametrik olarak üretilen halihazır harita üzerinden ortak bir güzergah belirlemiştir. Belirlenen güzergahta en kesitler üretilerek kazı dolgu hacmi ve farkları araştırılmıştır. Aynı zamanda 100 m x 100 m'lik alan içerisinde 20 m aralıklarla grid ağı oluşturmuştur. Bu alanda farklı yükseklik ve farklı bindirme oranlarında görüntüler alınarak nokta konum doğruluğu araştırması da yapmıştır.

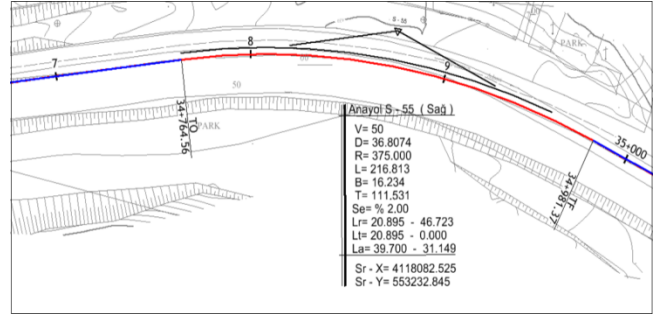
Toprak (2014), yaptığı çalışmada Fotogrametrik Tekniklerin İHA'lar ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin tespit edilmesini araştırmıştır. Bu projelerin üretimine yeni bir soluk katacak ve bu teknik ile daha kısa zamanda, daha hassas ve düşük maliyetler ile mühendislik projeleri üretilebileceği sonucuna varmıştır. Çalışmada, İHA ile Fotogrametrik Teknikler kullanılarak, Afyonkarahisar İli Merkezinde Hâlihazır Harita Üretimi, Hacim Hesabı ve Ortofoto Harita Üretimi, Konya İli Beyşehir İlçesinde Kültürel Mirasların Dokümantasyonu ve Mersin İli Silifke İlçesinde Arkeolojik Dokümantasyon şeklinde farklı mühendislik projelerinin üretildiği bahsedilmiş olup, bu çalışmada, gelişen teknolojinin bize sunmuş olduğu İHA'ların Fotogrametrik Teknikler ile birlikte, farklı mühendislik projelerinin üretiminde kullanılabilirliği araştırılmış ve sonuca varılmıştır.

Karayolu proje güzergah geometrik elemanları ana hatlarıyla Yatay Geometri (Plan), Düşey Geometri (Profil), dever ve enkesit den oluşmaktadır. Tüm bu geometrik elemanların belirlenmesi ve gerekli hesaplamaların (kazı dolgu hacim hesapları, yatay düşey kurp hesapları, dever vs.) proje güzergah hattının belirlenmesi ve sayısal halihazır haritasının üretilmesi için öncelikle 1/25000 ölçekli koridor etüdü güzergahı plan profil çalışması yapılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. 1/25000 ölçekli koridor etüdü güzergahı plan profili

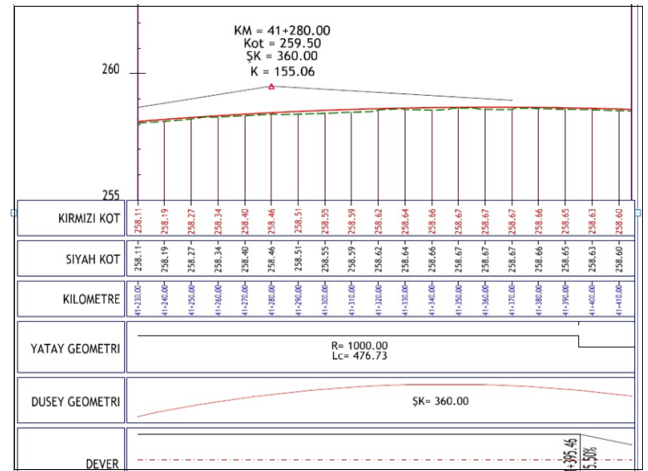
Kesinleşen 1/25000 ölçekli güzergah planının sayısal hâlihazır harita alımı (Etüt) tamamlandıktan sonra 1/1000 ölçekli yatay hat çalışması yapılır. Güzergâh Yatay hattı, Aliyman (doğrusal eksen) ve Kurp (dairesel eğri) den oluşmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. 1/1000 Ölçekli Güzergah Yatay Hattı

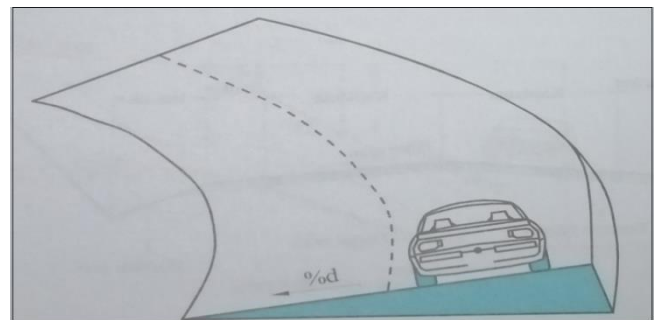
Proje düşey hattı, yatay ölçek 1/1000, düşey ölçek 1/100 olacak şekilde sayısal arazi modeli oluşturulmuş yatay eksen boyunca düşey kurpların (genellikle parabolik şekilde açık ve kapalı olarak) tanjant parçalarının birleşiminden oluşmaktadır.

Profil alt satırında sırası ile, kırmızı kot, siyah kot, kilometraj, yatay geometri, düşey geometri ve dever bandı bulunmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Düşey Profil

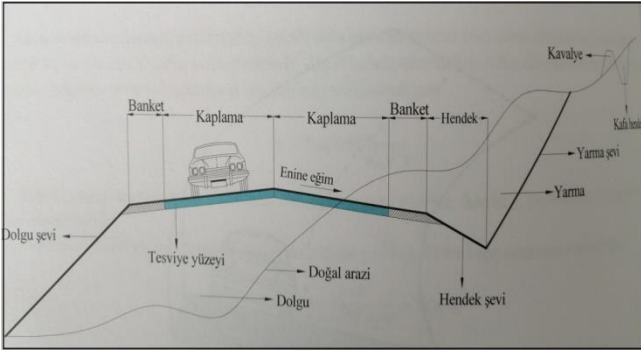
Dever; yatay kurplarda taşıtların hızlarından dolayı meydana gelebilecek merkezkaç kuvvetini yenmek araçların devrilme ve kaymalarını önlemek için yol platformuna verilen eğimdir (Şekil 5). Devlet ve İl yolları için kabul edilir maksimum dever %8'dir. Kar ve don'un etkili olduğu bölgelerde % 6, proje tasarım hızının 30 km/s ve daha düşük olduğu bölgelerde % 4 alınır (KGM, 2022)



Şekil 5. Yatay kurpta dever [URL-1]

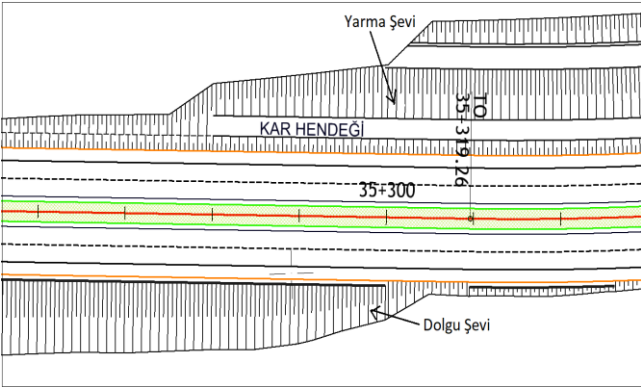
Enkesit; Yol gövdesi tabakaları ve elemanlarının yeterli genişlikte bir arazi kullanımını da kapsayacak şekilde yol eksenine dik düşey düzlem ile ara kesittir (Şekil 6).

Bir karayolu enkesiti karayolu kapasitesini ve güvenliğini etkileyen önemli bir eleman olup, trafik şeritleri, banket, refüj, üstyapı. Hendek ve yarma ve dolgu şevlerinden oluşmaktadır. Herhangi bir karayolunda uygulanacak enkesit tipinin seçimi yolun sınıfına, trafik hacmine, topoğrafik yapısına ve tasarım hızına bağlıdır.



Şekil 6. Yol Enkesiti

Şevli Plan; Proje güzergahı yatay ve düşey hattının (kırmızı kotunun) tamamlanmasından sonra uygulanacak olan enkesit tipine göre modellenerek harita düzlemi üzerinde gösterimidir (Şekil 7).



Şekil 7. Şevli Plan

Kübaj; Karayolu proje güzergahlarında güzergah boyunca belirli aralıklarda (20 m) enkesit alanları kullanılarak toprağın sıkışma, kabarma değerleri de dikkate alınarak hesaplanan kazı dolgu hacmi miktarıdır (Uysal vd., 2015)

Karayolu projelerinde hacim hesabında enkesitler yardımı ile alan hesabı yapılırken eşitlik (1) 'de verilen ortalama alanlar formülünden yararlanılır.

$$V = \frac{(F_1 + F_2)}{2} * L_1 + \frac{(F_2 + F_3)}{2} * L_2 + \dots + \frac{(F_i + F_{i+1})}{2} * L_i \quad (1)$$

İki kesit arasındaki dolgu ve yarma hacminin hesaplanabilmesi için yol gövdesinin yarmadan dolguya geçtiği ve yarma ve dolgunun sıfır olduğu kabul edilen geçiş noktasının kesitlere olan uzaklıklarının hesaplanması gerekir (Yakar & Fidan, 2019).

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Son yıllarda gelişen ve değişen ileri teknolojiler sayesinde fotogrametrisinin sivil kullanıcılar tarafından da uygulamaya başlaması ile birçok haritacılık uygulamaları fotogramerik yöntemler ile yapılmaktadır. İleri teknoloji İHA da hava fotogrametrisi uygulamalarında önemli bir platformdur (Hamal vd., 2020; Ceylan ve Uysal, 2021).

Hava fotogrametrisinde kullanılan platformlardan uydular ve uçakların yanında son zamanlarda fotogrametrik veri elde etmede İHA ların üzerine entegre edilen metrik olmayan dijital kameralar sayesinde hava fotogrametrisi uygulamaları daha kolay hale gelmiştir (Yakar ve Yılmaz, 2008; Yakar vd., 2009).

Günümüzde birçok farklı amaç için kullanılabilen İHA'lar fotogrametri için de taşıyıcı platform olarak kullanılmaktadır. Uçak, helikopter, octocopter veya zeplin şeklinde farklı uçuş şartlarına sahip birçok İHA'dan bahsetmek mümkündür (Ulvi, 2017; Hamal vd., 2021)

Bu çalışmada şekil 8' de gösterildiği üzere İnsansız Hava Aracı (İHA) ve İHA üzerine entegre edilmiş metrik olmayan dijital kameralar kullanılmış olup YKN 'lerin jeodezik ölçümler ile koordinatlarının belirlenmesi için GNSS cihazları temin edilmiştir (Şekil 9).



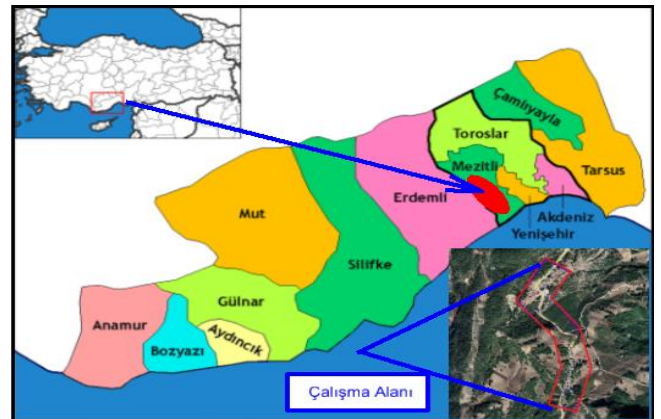
Şekil 8. DJI Phantom Pro4 ve Entegre Dijital Kamera



Şekil 9. SATLAB SI500 GPS Alıcısı

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Karayolları 5.Bölge Müdürlüğü yol ağında bulunan Mersin-Fındıkpınarı İl Yolu proje güzergahının yaklaşık 2 km lik kesimi kullanılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Çalışma Alanı görünümü

Çalışma alanında poligon taşlarına ilave olarak 51adet YKN noktaları tesis edilmiş olup bunların 23 Adedi Dengelemede,51 adedi ise ortofoto doğruluk analizinde check (kontrol) notaları olarak kullanılmıştır.

Karayolu proje güzergahlarında toprak hareketlerinin (kazı dolgu miktarları) birbirini dengeleyebilmesi için arzu edilen arazi topoğrafyası dalgali arazi yapısıdır. Bu nedenle çalışma alanı olarak bu çalışmada elde edilecek olan SAM (Sayısal Arazi Modeli)' nin toprak hareketi değerlendirmesinde (kazı-dolgu ) daha doğru karşılaştırma yapılabilmesi için Mersin Fındıkpınarı İl Yolunun özellikle dalgali arazi yapısına sahip bu kesimi tercih edilmiştir.

Arazi çalışmaları öncesinde uygulamada kullanılacak İHA (Döner Kanatlı) , dijital kamera (İHA'ya entegre), GNSS cihazı ve İHA ile elde edilen fotoğrafların değerlendirilmesinde yer kontrol noktaları olarak tesis edilecek olan (bez branda ve çizgi boyası ) temin edilmiştir (Şekil 11).



Şekil 11. Yer Kontrol Noktası Tesisleri görünümü

YKN'lerin koordinatlandırma işlemi, GNSS alıcısı Satlab GPS cihazı ve 2 m sabit yükseklikte jalon kullanılarak sahada istikşaf aşamasında bulunan ve 5 adet poligon noktasının koordinatları (ITRF Datumunda kesin koordinat) esas alınarak RTK GPS tekniği ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 12).

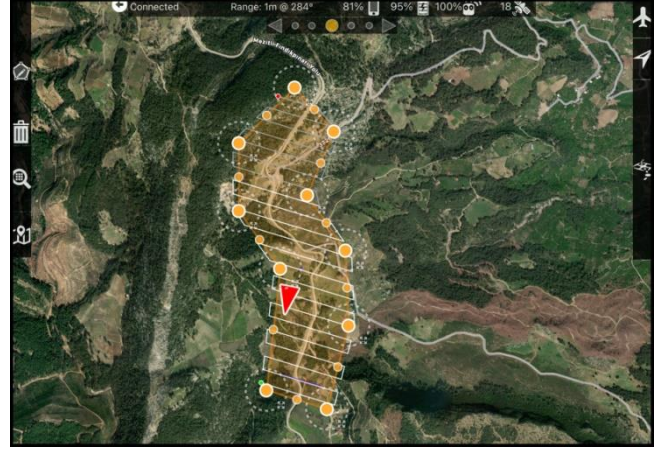


Şekil 12. YKN Ölçülmesi İşlemi

RTK-GPS tekniği ile elde edilen YKN'lerin arazi koordinatları EK 1' de verilmiştir.

## 2.2. Uçuş

Uçuş işlemine geçilmeden önce arazide uçuş planlaması yapılmıştır. Uçuş Planlaması Şekil 13' te gösterildiği üzere arazide Pix4d Capture programında manuel olarak hazırlanmıştır. Bu planlamada yer örnekleme aralığı (YÖA) 5 cm/piksel, uçuş yüksekliği 195 m %70 enine ve %85 boyuna bindirmeli 414 adet İHA ile fotoğraf çekimi yapılmıştır. Çalışma alanı koridorunda uçuş planına göre uçuş süresi yaklaşık 30 dakika sürmüştür.



Şekil 13. Pix4d Capture Uçuş Planı

## 2.3. Agisoft ve Ortofoto Harita Üretimi

Agisoft PhotoScan yazılımı yüksek çözünürlükte orto-görüntü ve son derece detaylı DEM ve poligonal model oluşturulmasına olanak sağlayan bir fotogrametrik değerlendirme yazılımı olup tam otomatik iş akışı özelliğine sahiptir [URL-2].

Yazılım, JPEG, TIFF, PNG gibi birçok formatları desteklemektedir. GeoTiff, xyz, Google KML, Wavefront OBJ, VRML, COLLADA ve PDF gibi çok farklı formatlarda çıktı ürünler sağlamakta olup fotogrametrik ve CBS açısından kolay işlenebilir çıktılar sağlayabilmektedir (Uysal vd., 2015; Aktaş vd., 2016; Alptekin vd., 2019)

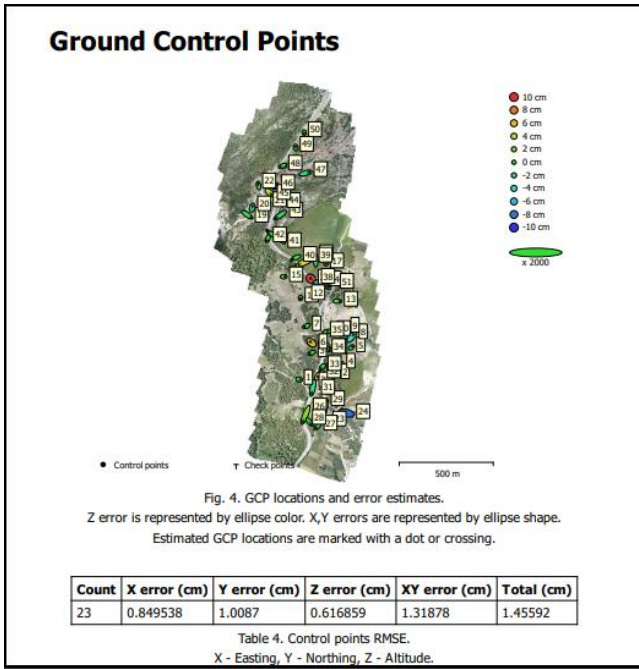
Agisoft PhotoScan programı ile ortofoto oluşturmak için aşağıdaki işlem adımları uygulanmıştır.

Agisoft PhotoScan programı ile ortofoto oluşturmak için aşağıdaki işlem adımları uygulanır.

- Program çalıştırıldıktan sonra **Workflow** sekmesi altında bulunan **Add Photos** sekmesi tıklanır ve resimlerin bulunduğu dosya komutu kullanılarak resimler seçilir.
- Daha sonra **Workflow** menüsü altında **Align Photos** sekmesi ile yüklenen resimler sıralanır.
- Bu işlemden sonra YKN ler import edilerek YKN işaretleme işlemi gerçekleştirilir. İşaretleme yapılırken ekrandaki bayrak işareti hassas olarak YKN üzerine getirilir.

Bu çalışmada dengelemede proje alanına uygun (homojen) dağılımda tesis edilen bulunan 23 adet YKN noktası kullanılmış olup dengeleme sonucu şekil 14' te verilmiştir.

- **Workflow** menüsü altında bulunan **Build Dense Cloud** sekmesi ile yoğun nokta bulutu işlemi gerçekleştirildi.
- Bir sonraki işlem olarak nokta bulutu üretildikten sonra üretilen bu noktalardan üçgen model oluşturularak çalışma alanının katı modeli elde edildi. Bu işlem **Workflow** menüsü altında bulunan **Build Mesh** sekmesi ile gerçekleştirildi.
- Katı model oluşturulduktan sonra katı modele resim giydirme işlemi (**Build Texture**) sekmesi ile gerçekleştirildi.

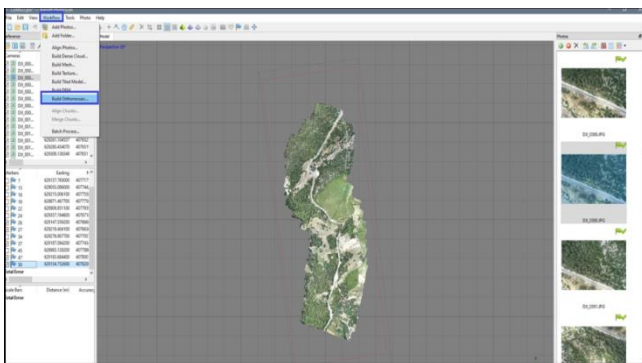


**Şekil 14.** 23 Adet YKN Dengeleme Sonucu Raporu Görüntüsü

Sayısal Yükseklik Modeli (DEM); Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), doğal kaynaklar ve şehirlerin yönetiminden, mühendislik ölçmelerine kadar birçok uygulamanın olmazsa olmazı konumundadır. (Erten vd., 2018) Diğer bir ifade ile DEM; Bir arazi yüzeyini 3 boyutlu olarak tanımlayan ve araziye ait yükseklik verilerinden elde edilmiş bir sayısal modeldir [URL-3].

- Resim giydirmeye işleminden sonra (Build DEM) sekmesi ile çalışma alanının sayısal yükseklik modeli oluşturuldu.
- Sonraki işlem olarak ortofoto üretimi gerçekleştirildi
- 

Bu işlem için Agisoft **Workflow** menüsü altında bulunan **Build Orthomosaic** sekmesi kullanıldı (Şekil 15).



**Şekil 15.** Agisoft Çalışma Alanı Orthomosaic Oluşturma Menüsü

#### 2.4. Ortofoto Harita Doğruluk Değerlendirme

Ortofoto harita doğruluk değerlendirmesinde çalışma alanına uygun dağılımda homojen olarak tesis edilen 51 adet YKN noktasına ilave olarak çalışma alanı içerisinde 30 adet detay noktaları kullanılmıştır. Bu 30 adet detay noktasının seçiminde arazide mevcut bina köşeleri, duvar noktası, yol ortası çizgi detayları vs.

noktalar kullanılmıştır. Bu 30 adet detay noktasının koordinatları YKN noktalarının da olduğu gibi GNSS alıcıları ile RTK ölçü yöntemi ile elde edilmiştir.

Ortofoto haritanın hassasiyeti koordinatlara bağlıdır. Arazide ölçülen 51 adet YKN ve 30 adet detay noktasının koordinatları kesin koordinatlar olarak kabul edilmiştir. Bu noktaların Ortofoto harita koordinatları NetCAD yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

RTK GPS yöntemi ile elde edilen ve kesin koordinatlar olarak kabul edilen noktalar ile ortofoto harita koordinatları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada X ve Y yönündeki hatalar;

$$v_x = x_k - x \quad (2)$$

$$v_y = y_k - y \quad (3)$$

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n}} \quad (4)$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n}} \quad (5)$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n}} \quad (6)$$

$$m_p = \pm \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad (7)$$

eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

Bu 81 adet noktanın kesin koordinatları, ortofoto haritadan elde edilen koordinatlar ve bu iki koordinat arasındaki farklar Ek 2 ve Ek 3'te verilmiştir.

Eşitlik 4, 5 ve 6 kesin noktalar ve ortofoto harita koordinatları arasında hesaplanan karesel ortalama hatalar ve nokta konum doğruluğu Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** Karesel Ortalama Hatalar

Nokta Sayısı	Karesel Ort. Hata (cm)		Ort. Konum Hatası (cm)
	$m_x$	$m_y$	$m_0$
81	2.76	2.64	3.81

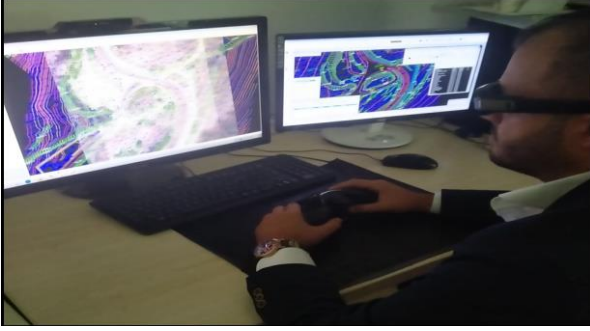
#### 2.5. Leica Photogrammetry Suit ve (SAM) Üretimi

Leica Photogrammetry Suit (LPS) programı, fotogrametrik proje uygulamalarında temiz ve sezgisel bir arayüze sahip öğrenimi ve kullanımı kolay ticari kodlu bir yazılımdır [URL-4]. Fotogrametrik uygulamalarda doğru, hassas ve hızlı üretim yapılabilecek araçları sağlayan yazılımdır. LPS yazılımı dünyada en geniş format yelpazesine sahip yazılımdır. Gerek uydu görüntüleri gerekse herhangi bir kaynaktan gelen hava fotoğrafları LPS içinde kullanılabilir [URL-5].

Sayısal Arazi Modeli; (SAM) yeryüzü topografyasının herhangi bir bölümüne ilişkin konum ve yükseklik bilgisiyle oluşturulmuş, o bölgeyi tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu sayısal bir modeldir. Diğer bir ifade ile SAM arazi üzerindeki doğal ve yapay

unsurlar (binalar, orman vb. alanlar.) çıkarıldıktan sonra kalan çıplak yer yüzeyini belirtmektedir. Sayısal Arazi Modeli de dahil olmak üzere İHA ile veri üretimi, multimedia coğrafi bilgi sistemleri için gerekli 3D veri altyapısının oluşturulmasına da hizmet etmektedir (Karkınlı vd., 2015)

Bu çalışmada Agisoft Photoscan programı ile dengeleme yapılan görüntülerin (çizime hazır hale getirilen) sayısallaştırılması şekil 16' da gösterildiği üzere LPS yazılımı ve bu yazılım ile entegre eşzamanlı çalışan MicroStation V8 programı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca araziye yansıtılan DTM noktaları manuel olarak üretilmiştir.



Şekil 16. Çalışma Alanı Stereo Kıymetlendirme görüntüsü

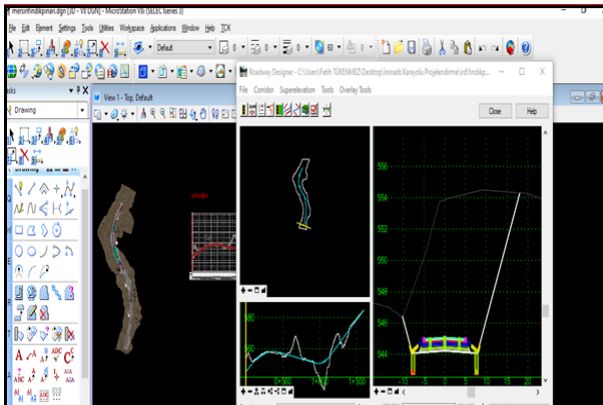
## 2.6. MicroStationV8İ (Inroads)

MicroStation V8İ programı dünyanın en büyük tasarım firmalarından birisi olan BENTLEY Systems tarafından geliştirilen ticari kodlu bir yazılımdır [URL-6].

MicroStation V8İ yazılımının;

- Çizim üretimi, verimliliği
- Yapılandırılmış İş Akışları, İçerik
- Tasarımda iletişim kolaylıkları, kontrol ve düzeltme seçenekleri
- 3 Boyutlu Modelleme gibi güçlü ve basit yanları bulunmaktadır.

Inroads; Microstation V8İ karayolu projelendirme modülü, uluslararası mühendislik camiasında birçok kullanıcıya sahip olan bir programdır. Ülkemizde birçok proje firması genel görünümü şekil 17' de gösterilen Microstation Inroads modülü ile tasarımlar yapmakta ve Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından da yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 17. Microstation V8İ InRoads yazılımı genel görünümü.

## 2.7. Karayolu Güzergah Projesi Örneği ve Kübaj (Hacim) Hesabı

Bu çalışmada sayısal halihazır 2014 yılında yersel yöntemle üretilen Mersin Fındıklı Yolu'nun çalışma alanını kapsayan kesiminde yaklaşık 1.5 km lik bir güzergahın her iki yöntemde üretilen sayısal arazi modelleri kullanılarak proje güzergahının kübajı (Kazı Dolgu miktarları) belirlenmiştir. Bu örnek proje çalışmasında MicroStation V8İ programı altında çalışan Inroads (Yol Projeleştirme Modülü) kullanılmıştır.

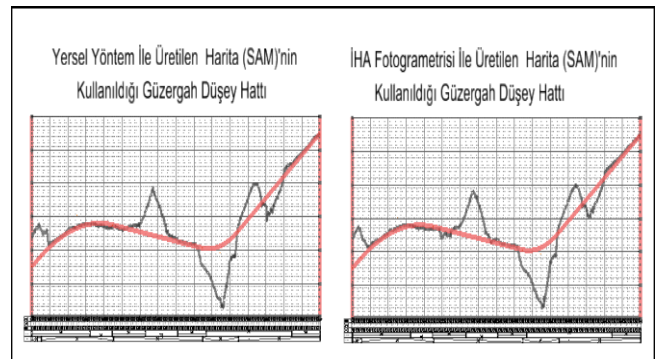
Karayolu proje güzergah geometrik elemanları ana hatlarıyla; Yatay Geometri (Plan), Düşey Geometri (Profil), dever ve enkesit den oluşmaktadır. Bu çalışmada aynı güzergaha ait aynı tasarım parametreleri kullanılarak yersel yöntemle üretilen SAM (Sayısal Arazi Modeli) ve İHA Fotogrametisi yöntemi ile üretilen SAM kullanılmıştır.

Yersel Yöntemle üretilen SAM kullanılarak elde edilen proje güzergahında 107682.456 m<sup>3</sup> kazı hacmi, 75908.986 m<sup>3</sup> dolgu hacmi hesaplanmış olup 31773.469 m<sup>3</sup> kazı fazlası bulunmaktadır. İHA Fotogrametisi yöntemi ile üretilen SAM kullanılarak elde edilen proje güzergahında 108951.136 m<sup>3</sup> kazı, 74768.338 m<sup>3</sup> dolgu hacmi hesaplanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen toprak ileri miktarları hesaplanmış olup karşılaştırma sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Kazı Dolgu Miktarları Karşılaştırması

	Yersel (SAM)	İHA (SAM)	Farklar
Yarma Hacmi (m <sup>3</sup> )	107686.456	108951.136	1268.68
Dolgu Hacmi (m <sup>3</sup> )	75908.98	74768.338	-1140.648
Farklar Yüzdesi (Yersel Yarma)			%1
Farklar Yüzdesi (Yersel Dolgu)			%2

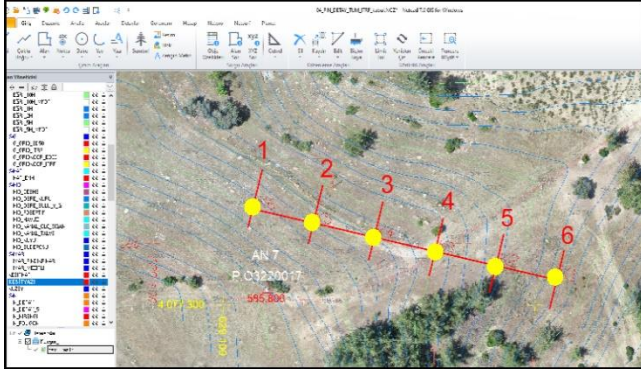
Çalışma alanı içerisinde her iki yöntemle üretilen sayısal arazi modelleri kullanılarak örnek uygulaması yapılan karayolu proje güzergahının profil karşılaştırması Şekil 18 ' de gösterilmiştir



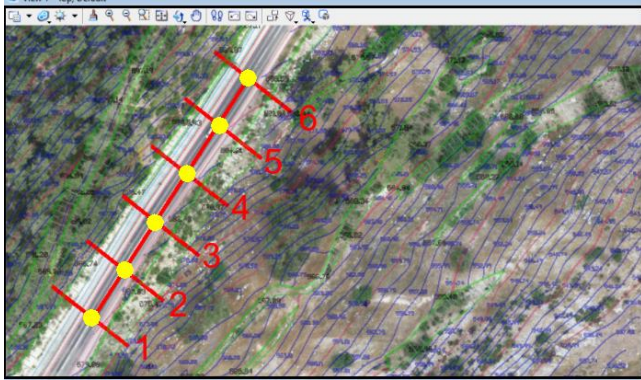
Şekil 18. Güzergah Profili Görüntüsü



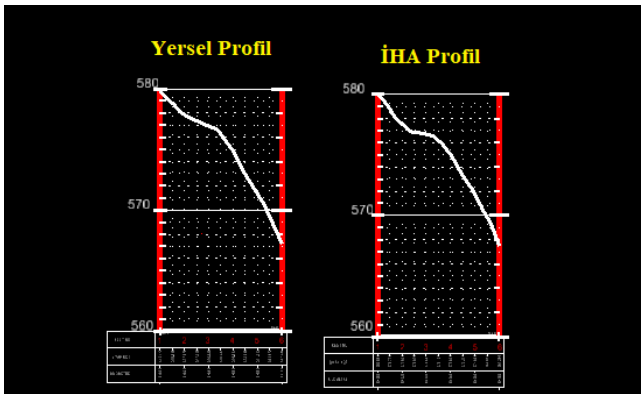
Ayrıca, çalışma alanını içerisinde yine farklı iki alanda Şekil 19' da gösterilen birinci arazi alanı ile şekil 20'de gösterilen ikinci arazi alanında, 100 m lik bir arazi kesitinin 20 m aralıklarla boykesit profilleri alınarak her iki yöntemle üretilen SAM karşılaştırılmıştır. Gayrimeskun alanda seçilen birinci kesit alanına ait profiller Şekil 21'de, profil alt satır bilgileri ise Şekil 22' de gösterilmiştir.



Şekil 19. Çalışma Alanında Örnek Kesit Hattı Görüntüsü-1



Şekil 20. Çalışma Alanında Örnek Kesit Hattı Görüntüsü-2



Şekil 21. 100 m lik Örnek 1. Arazi Kesitinin iki sistemdeki profili

İkinci kesit alanı olarak mevcut yol platformu üzerinde bir kesim seçilmiştir (Şekil 20). Bu alanın seçilmesinin nedeni sert ve düz satırlı yüzeylerde zemin kotlarının daha hassas olması gerektiğidir. İlk olarak örnek kesit alanı 1 de olduğu gibi 100 m lik bir arazi kesitinin 20 m aralıklarla boykesit profilleri alınarak her iki yöntemle üretilen SAM kullanılarak karşılaştırılmıştır. Mevcut yol platformu üzerinde seçilen 2. Kesit hattı üzerinde 20 m aralıklar ile 5 adet noktanın kot ölçümü P.55 referans alınarak GPS RTK tekniği ile 11.11.2021 tarihinde sahada ölçülmüştür (Şekil 23).

Station	1	2	3	4	5	6
KESİT NO	1	2	3	4	5	6
SIYAH KOT	579.772	578.628	577.870	577.359	576.247	572.945
KİLOMETRE	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100

Yersel

Station	1	2	3	4	5	6
KESİT NO	1	2	3	4	5	6
SIYAH KOT	580.042	578.778	577.636	576.974	576.157	573.277
KİLOMETRE	0+000	0+020	0+040	0+060	0+080	0+100

İHA

Şekil 22. Örnek 1. Arazi Kesitinin İki Sistemdeki Profil Alt Satırı



Şekil 23. Örnek 2. Arazi Kesitinin Ölçümü

Arazide GPS tekniği ile ölçülen kotlar ile İHA sayısal arazi modelinden üretilen kotlar arasındaki farklar Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Kesit 2 Hattı Üzerindeki Noktaların Kotları ve Farkları

Nokta No	Kesin Kotlar (m)	İHA (SAM) Kotları (m)	Farklar (cm)
1	580.258	580.218	4
2	581.478	581.529	-5
3	583.069	583.025	4
4	584.019	584.053	-3
5	584.925	584.973	5
6	585.972	585.953	2

## 2.8. Yersel Harita ve İHA Fotogrametrisinin Maliyet Yönünden Karşılaştırılması

Çalışma alanının halihazır harita üretiminde kullanılan iki farklı yöntem (İHA Fotogrametrisi ve Yersel Yöntem) arasında maliyet değerlendirmesi yapılmış olup, Döner kanatlı İHA kullanılarak üretilen haritanın maliyet hesaplamalarında hesap yöntemi olarak daha önce yapılan benzer bir çalışma olan " (Ulvi A., 2015 Metrik Olmayan Dijital Kameraların Hava

Fotogrametrisinde Yakın Resim Çalışmalarında (Yere Yakın Yüksekliklerde) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Çalışma) ” konulu Doktora tezi baz alınmıştır.

Döner kanatlı İHA Sisteminin maliyeti 40000 TL dir. İHA ’nın bir üst modeli yaklaşık üç yıl sonra çıktığı hesap edilmiştir. Bu üç yıl içerisinde yaklaşık yüz uçuş yapılacağı hesap edilerek yüz uçuş sonrasında amortisman gideri satı alma maliyetidir.

İHA nın bu projedeki bir saatlik uçuş maliyeti =[Satın Alma Maliyeti / (100x1)].Buradaki 1 rakamı çalışma alanında saat biriminde uçuş süresidir. Bu formüle göre İHA’nın bir saatlik uçuş maliyeti = [40000/(100x1)]= 40 TL’dir.

Bu çalışmada 51 adet YKN tesis edilmiştir. 26 adet YKN tesisinde Karayolları Genel Müdürlüğünün kullandığı yol çizgi boyası kullanılmıştır. 25 adet YKN tesisi için de (50 cm\*50 cm) ebatlarında bez brandalar kullanılmıştır. Burada harcanan 25 adet YKN tesisinde 5 kg boya kullanılmış olup 1 kg boyanın maliyeti 10 TL.dir. Bu boyanın 1 adet YKN maliyeti ise; (10x5)/26 = 1.92 TL dir. Kullanılan 1 adet bez brandanın maliyeti ise 25 TL. dir.

Çalışma alanının fotoğraflanması çalışmasında 414 adet fotoğraf çekilmiştir. Bu fotoğraflar 4 adet lipo pili sarz edip iki adet uçuş yapılarak elde edilmiştir. Bir pilin

satın alma maliyeti 625 TL dir. Bir fotoğrafın çekim maliyeti ise  $[(625 \times 4) / 100] / 414 = 0.06$  TL dir.

Yetkili satıcılardan alınan yazılım lisans fiyatları incelendiğinde [URL-7]. Fotoğrafların değerlendirildiği Agisoft yazılım maliyeti 3500\$’dır. Doların kur fiyatı 8.80 TL olarak düşünüldüğünde yaklaşık fiyatı  $3500 \times 8.80 = 30800$  TL’dir. Yazılımın bir üst versiyonunun üç yılda çıktığı öngörülerek amortisman değeri hesaplanmıştır. Bu üç yıl içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik değerlendirme maliyeti;  $[30800 / (100 \times 24)] = 12.83$  TL dir.

Stereo kıymetlendirmenin yapıldığı yazılımın maliyeti 12000\$ dir. 01.10.2021 tarihinde T.C.Merkez Bankası Dolar Kur Fiyatı 8.80 TL olarak düşünüldüğünde yaklaşık fiyatı  $12000 \times 8.80 = 105600$  TL dir. Yazılımın bir üst versiyonunun üç yılda çıktığı öngörülerek amortisman değeri hesaplanmıştır. Bu üç yıl içerisinde yüz uçuşluk değerlendirme yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik kıymetlendirme maliyeti;  $[105600 / (100 \times 24)] = 44$  TL dir.

TMMOB 2021 yılı asgari mühendislik ücreti brüt maaşı 5750 TL üzerinden günlük mühendis ücreti ;  $5750 / 20$  (gün) = 287.50 TL dir.

Bu hesaplamaların sonucunda döner kanatlı İHA yaklaşık maliyeti Tablo 4 ’ de verilmiştir.

**Tablo 4.** Döner Kanatlı İHA Fotogrametrisi Yaklaşık Maliyet

İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (TL)	Uçuş Ücreti (TL/Saat)	Yazılım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ(TL)
1 Araç Kirası	24					1	250	250
2 Uçuş	1	1	287.50	48				335.50
3 Uçuş Planlaması	1	1	287.50					287.50
4 YKN Tesis (Boya)	4	1	287.50			26	1.92	337.42
5 YKN Tesis (Bez Branda)	2	1	287.50			25	25	912.5
6 Fotoğraf Çekim						414	0.06	24.84
7 Dengeleme	24	1	287.50		12.83			595.42
8 Kıymetlendirme	24	1	287.50		44			1343.5
9 Bütünleme	24	1	287..50		12.83			595.42
<b>Toplam</b>								<b>4682,10</b>

Çalışma alanının dalgalı arazi yapısına sahip olmasından dolayı yersel halihazır harita üretimine 10 adet poligon taşı tesisi yapılmıştır. Poligon taşı piyasa değeri 30 TL dir. Nakliye değeri ise 10 TL dir.1 adet poligonun nakliye değeri.,  $100 / 10 = 10$  TL dir. Buna göre 1 adet poligon taşının tesisi nakliye dahil  $30 + 10 = 40$  TL dir.

2021 yılı brüt asgari ücret değeri 3577.50 TL.dir. Aylık 20 gün üzerinden 1 asgari ücretli işçinin bir günlük ücreti;  $3577.50 / 20 = 178,87$  TL dir.

TMMOB 2021 yılı asgari mühendislik ücreti brüt maaşı 5750 TL üzerinden günlük mühendis ücreti;  $5750 / 20$  (gün) = 287,50 TL dir.

Yetkili satıcılardan alınan yazılım lisans fiyatları incelendiğinde; (Bu değerlendirmede NetCAD yazılımı esas alınmıştır.) yazılımın değeri 24000 TL dir. Yazılımın bir üst versiyonunun üç yılda çıktığı öngörülerek amortisman değeri hesaplanmıştır. Bu üç yıl içerisinde yüz değerlendirme yapılacağı hesap edilerek yazılımın bir saatlik maliyeti;  $[24000 / (100 \times 8)] = 30$  TL dir.

Bu hesaplamaların sonucunda Yersel yöntem yaklaşık maliyeti Tablo 5.’ de verilmiştir.

**Tablo 5.** Yersel Yöntem Halihazır Harita Alımı Yaklaşık Maliyet

	İşlem	Süre (Saat)	Personel Sayısı	Personel Ücreti (TL)	Yazılım Ücreti (TL/Saat)	Hizmet Miktarı (Adet)	Hizmet Ücreti (TL/Adet)	Σ(TL)
1	Araç Kirası	120				2		2500
2	İstikşaf ve Kanava	16	1	287.50				575
3	Poligon Tesis	16	2	178.87		10	30	1015.48
4	Arazi Ölçümü	40	3	178.87				2683.05
5	Tersimat ve Çizim	40	2	287.50	30			2875
							Toplam	9648,53

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 3.1. Sonuçlar

Çalışma alanı içerisinde SAM karşılaştırmasında ilk olarak yaklaşık 1,5 km lik bir güzergah proje güzergahı olarak belirlenmiştir. Yatayda ve düşeyde karayolu geometrik standartları esas alınarak örnek proje güzergahının uygulamasında MicroStation V8i yazılımının İnroads (yol projelendirme Modülü) kullanılmıştır. Proje çalışmasında yersel yöntemde 34968 nokta kullanılarak üretilen SAM ve İHA Fotogrametrisi tekniği ile 85816 nokta kullanılarak üretilen SAM kullanılmıştır.

Örnek proje çalışmasında yersel yöntem SAM kullanıldığında 107682.456 m3 yarma, 75908.986 m3 dolgu, İHA SAM kullanıldığında 108951.16m3 yarma,74768.334 m3 dolgu miktarları elde edilmiştir. Frak yüzdeleri yerse yönteme göre kıyaslandığında yarma miktarında %1, dolgu miktarında %2 lik bir fark bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar daha önce benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında; Dalgalı arazi yapısına sahip alanda gerçekleştirilmiş bir diğer çalışmada ise kazı hacmindeki fark %11,3, dolgu hacmindeki fark %-1,1 olarak bulunmuştur (Tercan, 2017) Benzer başka bir çalışmada ise karayolu çalışma alanında 3 adet toprak yığına ait hacimler incelenerek farkların %8-16 arasında olduğu görülmüştür (Siebert & Teizer, 2014).

İkinci kıyaslama yöntemi olarak çalışma alanının içerisinde iki farklı kesiminde noktada 20 m aralıklarla 100 m uzunluğunda belirlenen kesit hattının MicroStation İnroads yazılımında boykesiti (profil) elde edilmiştir. İlk kesit alanı çalışma alanında gayrimeskun bir alanda eğimli bir arazi kesiti seçilmiştir (Şekil 19.) İkinci kesit alanı olarak da sert sathlı mevcut yol ekseninde bir alan seçilmiştir (Şekil 20). Birinci kesit hattı yersel ve İHA SAM kıyaslaması sonucunda kesit noktaları arasındaki kot farklarının 15-20 cm aralığında olduğu görülmüştür. İkinci kesit hattı sonucunda ise farkların 2-5 cm aralığında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar irdelendiğinde kesit noktaları kot farkları Karayolları "Yersel ve Fotogrametrik Harita Mühendislik Hizmetleri

İşlerine Ait Teknik Şartnamesi" ne göre kabul edilebilen değerlerdir.

Agisoft Photoscan yazılımı ile üretilen ortofoto haritanın doğruluk değerlendirmesinde çalışma alanı içerisinde tesis edilen YKN noktaları ve bu noktalara ilave olarak arazide GPS RTK ölçü tekniği koordinatları elde edilen 30 adet toplamda 81 adet nokta kullanılmıştır. Bu 30 adet detay noktaların belirlenmesinde çalışma sahasında mevcut bina köşeleri, duvar noktası, yol ortası çizgi detayları vs. noktalar kullanılmıştır. Kesin koordinatlar olarak kabul edilen bu noktaların NetCAD yazılımı kullanılarak ortofoto harita üzerindeki koordinatları belirlenmiştir.

Ortofoto harita doğruluk değerlendirmesinde kullanılan bu noktaların karesel ortalama hataları ve ortalama konum hataları  $m_y = \pm 2,76$  cm,  $m_x = \pm 2,64$  cm ve  $m_P = \pm 3,81$  cm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar irdelendiğinde hesaplanan değerlerin; BÖHHBÜY (Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği)'e göre ve Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita Mühendislik Hizmetleri İşlerine Ait Teknik Şartname de belirtilen detay ölçme doğruluğu başlığı altında belirlenen hata sınırının ( $\pm 7$  cm) içerisinde kaldığı görülmüştür.

Yaklaşık 50 ha lık bir alana sahip çalışma alanının halihazır harita üretiminde yersel yöntem ve İHA Fotogrametrisi arasında maliyet değerlendirmesi yapılmıştır. Döner Kanatlı İHA kullanılarak üretilen haritanın yaklaşık maliyeti 4682,10 TL, yersel yöntemle üretilen haritanın yaklaşık maliyeti ise 9648,53 TL olarak bulunmuştur.

#### 3.2. Öneriler

Karayolu güzergâh projelerine altlık oluşturan halihazır haritaların klasik (geleneksel) yersel yöntemlere üretilmesi durumunda özellikle dağlık ve girilemeyen alanlarda can ve mal güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır. Bu durum zaman kaybına neden olmakla beraber ve yüksek maliyetler de getirmektedir. Ayrıca karayolu proje güzergahlarında İHA fotogrametrisi tekniği ile elde edilen SAM (Sayısal Arazi

Modeli)' nin, yersel yöntemler ile üretilen halihazır haritanın SAM karşılaştırması ile ortofoto harita doğruluk değerlendirme sonuçlarının istenilen hassasiyette olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi İHA teknolojisi ile harita üretilmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan uygulamalar (SAM üretimi, ortofoto harita) sonucunda İHA sistemlerinin yersel yöntemle harita üretimine alternatif olarak yaygın olarak kullanılması gerekmektedir. Ancak İHA sistemlerinin uçuş süreleri bakımından sınırlı olması, olumsuz hava koşullarından etkilenmesi ve uygulamaya konu alanların geniş olduğu durumlarda veri boyutunun fazla olacağı bu durumun görüntü değerlendirme ve veri depolama problemleri birlikte oluşturacağı düşünüldüğünde İHA sistemleri bu anlamda bir dezavantaj olarak görülebilmektedir.

Birçok harita temelli mühendislik projelerinde olduğu gibi karayolu projelerinde de üretilen haritaların minimum sürede, düşük maliyette ve istenilen hassasiyette olması arzu edilmektedir. Bu çalışma sonucunda da görüldüğü gibi kısa sürede düşük maliyette ve kabul edilebilir hassasiyette sonuçlar elde edildiğinden son zamanlarda harita üretiminde ileri teknoloji İHA' lar yaygın olarak kullanılabilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Fatih Tükenmez'in tezinin bir parçasını oluşturmakta olup Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 2021-1-TP2-4295 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## 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

- Aktaş A, Çınar, M. C., Birdal, C. & Türk, T. (2016). İHA İle Elde Edilen Verilerin Değerlendirilmesinde Yaygın Olarak Kullanılan Yazılımların Karşılaştırılması VI. *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL CBS 2016)*, 05-07 Ekim 2016. Adana
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020a). Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- Alptekin, A. & Yakar, M. (2020b). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (1) , 17-21.
- 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.
- 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
- Erdoğan, A., Kabadayı, A. & Akın, E. S. (2021). Kültürel Mirasın Fotogrametrik Yöntemle 3B Modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 3 (1), 23-27. DOI: 10.51534/tiha.911147
- Erdoğan, E. (2016). Şeritvari Haritaların İHA İle Üretimi. Yüksek Lisans tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 48s
- Erten, E., Çelik, M. F. & Şahin, Z. M. (2018). TANDEM-X Sayısal Yükseklik Modelinin Oluşturulması. *Harita Dergisi*, 84 (160),47-54.
- Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B. & Ulvi, A. (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Techniques for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2 (2), 55-60.
- Hamal, S. N. G., Ulvi, A. & Yiğit, A. Y. (2021). Three-Dimensional Modeling of an Object Using Underwater Photogrammetry. *Advanced Underwater Sciences*, 1(1), 11-15.
- Hamal, S. N. G., Ulvi, A., Yiğit, A. Y. & Yakar, M. (2022). Su Altı Yapılarının 3B Modellemesi ve Dokümantasyonunda Kullanılan Video ve Fotoğraf Çekimi Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12 (4), 2262-2275.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- Karkınlı, A. E., Kesikoğlu, E., Kesikoğlu, M. H., Atasever, U. H., Özkan, C., Civicioğlu, P. & Beşdok. E. (2015). İnsansız Hava Araçları İle Sayısal Arazi Modeli Üretimi, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu 23-25 Mayıs 2015, Konya
- 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.
- KGM (2022). Karayolu Tasarım El Kitabı, 165s
- Kök, B. V. (2019). Karayolu Mühendisliği ve Tasarımı, Nobel Akademik Yayıncılık,ISBN: 9786050330397, 200s.
- Seki, M., Tiryakioğlu, İ. & Uysal, M. (2017). Farklı Veri Toplama Yöntemleri İle Yapılan Hacim Hesaplarının Karşılaştırılması. *Geomatik Dergisi*, 2(2), 106-111.
- Siebert, S. & Teizer, J. (2014). Mobile 3D Mapping For Surveying Earthwork Using An Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Automation In Construction*, 41, 1-14.
- Tercan, E. (2017). Karayolu Projelerinde İnsansız Hava Aracı İle Üretilen Sayısal Arazi Modelinin Değerlendirilmesi, Bucak Kocaaliler Yolu Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(82), 172-18.
- Toprak, A. S. (2014). Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları İle Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması Yüksek Lisans tezi. *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2014,
- Ulvi, A. (2015). Metrik olmayan dijital kameraların hava fotogrametrisinde yakın resim çalışmalarında (yere yakın yüksekliklerde) kullanılabilirliği üzerine bir çalışma. Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 188s.

- 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.
- 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.
- Uysal, M., Toprak, A. S. & Polat, N. (2015). İnsansız hava araçları ile Sayısal Arazi Modeli Üretimi. *TUFAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 20-23 Mayıs 2015, Konya.
- 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.
- Yakar M. (2009). Digital elevation model generation by robotic total station instrument. *Experimental Techniques*, 33(2), 52-59.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2 (1), 11- 17.
- Yakar, M. & Doğan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. Conference of the Arabian Journal of Geosciences, Hammamet, Tunisia, 73-75.
- Yakar, M. & Fidan, Ş. (2019). Topografya, Konya, Atlas Akademi.
- 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. & Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B3b.
- Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Exp Tech*, 35, 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.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., Mutluoğlu, H. M., (2009). Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama ve Yersel Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoğlu, O. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(2), 086-096.
- 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.
- Yılmaz, H. M. & Yakar, M. (2008). Computing Of Volume Of Excavation Areas By Digital Close Range Photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78
- Yılmaz, H. M. (2010). Close range photogrammetry in volume computing. *Experimental Techniques*, 34(1), 48-54.
- Yılmaz, H. M., Yakar, M. & Yildiz, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130.
- Zıba, H. E. & Yılmaz, H. M. (2019). Karayolu Projeleri İçin İHA İle Şeritvari Harita Üretimi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 23-32.

### İnternet Kaynakları

URL-1:

<https://portal.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Root/default.aspx>

URL-2:

<https://www.agisoft.com/>

URL-3:

<https://cbsakademi.ibb.istanbul>

URL-4:

<https://www.geosystems.pl/upload/zalaczniki/LPS92brochureFV.pdf>

URL-5:

<https://arlab.istanbul.edu.tr>

Url-6:

<https://www.cevremuhendisleri.net/konu/microstation-hakkinda-genel-bilgi.476>



© Author(s) 2022.

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

**EKLER****1. Referans poligonlar ve arazide işaretlenen YKN'lerin koordinatları**

N.No	Y(m)	X(m)	Z(m)
P.47	629192.33	4076867.09	563.638
P.49	629252.79	4077196.01	555.499
P.50	629292.52	4077389.80	561.465
P.52	629115.57	4077499.54	557.774
1	629132.66	4076891.48	563.373
2	629324.28	4076923.39	537.954
3	629184.88	4077032.64	573.031
4	629355.62	4076978.28	535.577
5	629410.71	4077069.28	534.648
6	629185.66	4077097.26	580.128
7	629157.76	4077175.23	576.199
8	629418.83	4077135.43	533.754
9	629379.95	4077172.32	538.675
10	629307.20	4077153.32	547.006
11	629135.28	4077325.36	576.886
12	629168.19	4077328.43	574.014
13	629343.42	4077311.65	543.304
14	629283.30	4077385.12	561.454
15	629053.08	4077442.25	581.962
16	629290.14	4077458.06	548.622
17	629270.95	4077511.89	535.383
18	629215.01	4077558.56	533.044
19	628871.47	4077758.78	581.702
20	628880.61	4077820.18	575.162
21	628965.99	4077840.01	569.249
22	628909.85	4077939.79	576.980
23	629260.72	4076693.59	558.589
24	629357.19	4076718.64	571.440
25	629287.25	4077054.22	557.871
26	629147.56	4076668.16	545.981
27	629219.40	4076636.68	544.122
28	629193.33	4076655.00	546.210
29	629273.73	4076779.93	562.621
30	629193.84	4076818.38	552.668
31	629237.03	4076842.24	561.664
32	629226.94	4076906.37	556.459
33	629243.67	4076953.20	557.547
34	629276.91	4077057.80	557.789
35	629258.42	4077139.78	557.022
36	629252.79	4077196.01	555.499
37	629187.08	4077434.69	554.262
38	629236.86	4077432.63	551.291
39	629125.63	4077504.67	552.151
40	629096.26	4077536.48	551.964
41	628960.61	4077685.15	546.342
42	628958.27	4077635.00	542.978
43	629004.20	4077753.39	550.416
44	629038.45	4077836.17	555.396
45	628983.13	4077880.08	562.812
46	629009.42	4077930.61	558.474
47	629183.68	4078001.03	543.018
48	629029.18	4078027.46	576.321
49	629108.54	4078137.40	584.258
50	629154.75	4078208.14	589.107
51	629317.90	4077408.37	557.525

## 2. YKN Koordinatları ve Farkları 1

Nokta No	Kesin Koordinatlar		Ortofoto Koordinatlar		Farklar		Karesi	
	Y (m)	X(m)	Y (m)	X(m)	V <sub>Y</sub> (cm)	V <sub>X</sub> (cm)	V <sub>Y</sub> V <sub>Y</sub>	V <sub>X</sub> V <sub>X</sub>
YKN1	629132.662	4076891.486	629132.643	4076891.456	-1.9	-3	3.6	9.0
YKN2	629324.288	4076923.389	629324.274	4076923.413	-1.4	2.4	2.0	5.8
YKN3	629184.877	4077032.641	629184.856	4077032.674	-2.1	3.3	4.4	10.9
YKN4	629355.625	4076978.283	629355.619	4076978.308	-0.6	2.5	0.4	6.3
YKN5	629410.709	4077069.284	629410.722	4077069.296	1.3	1.2	1.7	1.4
YKN6	629185.662	4077097.259	629185.645	4077097.306	-1.7	4.7	2.9	22.1
YKN7	629157.765	4077175.230	629157.734	4077175.201	-3.1	-2.9	9.6	8.4
YKN8	629418.835	4077135.429	629418.826	4077135.462	-0.9	3.3	0.8	10.9
YKN9	629379.955	4077172.316	629379.946	4077172.321	-0.9	0.5	0.8	0.2
YKN10	629307.196	4077153.321	629307.188	4077153.342	-0.8	2.1	0.6	4.4
YKN11	629135.280	4077325.365	629135.310	4077325.384	3	1.9	9.0	3.6
YKN12	629168.190	4077328.433	629168.183	4077328.440	-0.7	0.7	0.5	0.5
YKN13	629343.421	4077311.652	629343.42	4077311.666	-0.1	1.4	0.0	2.0
YKN14	629283.296	4077385.124	629283.286	4077385.129	-1	0.5	1.0	0.3
YKN15	629053.086	4077442.252	629053.126	4077442.291	4	3.9	16.0	15.2
YKN16	629290.138	4077458.057	629290.138	4077458.057	0	0	0.0	0.0
YKN17	629270.946	4077511.889	629270.926	4077511.927	-2	3.8	4.0	14.4
YKN18	629215.006	4077558.556	629215.036	4077558.596	3	4	9.0	16.0
YKN19	628871.468	4077758.779	628871.421	4077758.749	-4.7	-3	22.1	9.0
YKN20	628880.609	4077820.186	628880.572	4077820.243	-3.7	5.7	13.7	32.5
YKN21	628965.997	4077840.013	628965.988	4077840.033	-0.9	2	0.8	4.0
YKN22	628909.851	4077939.786	628909.886	4077939.810	3.5	2.4	12.3	5.8
YKN23	629260.723	4076693.589	629260.693	4076693.620	-3	3.1	9.0	9.6
YKN24	629357.195	4076718.644	629357.185	4076718.622	-1	-2.2	1.0	4.8
YKN25	629287.254	4077054.217	629287.229	4077054.247	-2.5	3	6.2	9.0
YKN26	629147.559	4076668.158	629147.516	4076668.179	-4.3	2.1	18.5	4.4
YKN27	629219.404	4076636.682	629219.435	4076636.706	3.1	2.4	9.6	5.8
YKN28	629193.325	4076655.001	629193.315	4076655.016	-1	1.5	1.0	2.2
YKN29	629273.732	4076779.926	629273.72	4076779.937	-1.2	1.1	1.4	1.2
YKN30	629193.843	4076818.383	629193.835	4076818.389	-0.8	0.6	0.6	0.4
YKN31	629237.030	4076842.243	629237.029	4076842.244	-0.1	0.1	0.0	0.0
YKN32	629226.944	4076906.368	629226.921	4076906.391	-2.3	2.3	5.3	5.3
YKN33	629243.670	4076953.199	629243.664	4076953.206	-0.6	0.7	0.4	0.5
YKN34	629276.908	4077057.795	629276.908	4077057.795	0	0	0.0	0.0
YKN35	629258.423	4077139.784	629258.407	4077139.795	-1.6	1.1	2.6	1.2
YKN36	629252.790	4077196.010	629252.771	4077196.035	-1.9	2.5	3.6	6.3
YKN37	629187.084	4077434.692	629187.063	4077434.661	-2.1	-3.1	4.4	9.6
YKN38	629236.859	4077432.632	629236.819	4077432.612	-4	-2	16.0	4.0
YKN39	629125.626	4077504.673	629125.556	4077504.651	-7	-2.2	49.0	4.8
YKN40	629096.261	4077536.479	629096.164	4077536.495	-9.7	1.6	94.1	2.6
YKN41	628960.609	4077685.159	628960.584	4077685.167	-2.5	0.8	6.3	0.6
YKN42	628958.273	4077635.000	628958.25	4077634.998	-2.3	-0.2	5.3	0.0
YKN43	629004.203	4077753.390	629004.173	4077753.402	-3	1.2	9.0	1.4
YKN44	629038.453	4077836.176	629038.429	4077836.203	-2.4	2.7	5.8	7.3
YKN45	628983.128	4077880.080	628983.095	4077880.053	-3.3	-2.7	10.9	7.3
YKN46	629009.422	4077930.612	629009.392	4077930.652	-3	4	9.0	16.0
YKN47	629183.684	4078001.030	629183.715	4078001.065	3.1	3.5	9.6	12.3
YKN48	629029.181	4078027.460	629029.140	4078027.471	-4.1	1.1	16.8	1.2
YKN49	629108.538	4078137.401	629108.513	4078137.423	-2.5	2.2	6.2	4.8
YKN50	629154.753	4078208.142	629154.714	4078208.110	-3.9	-3.2	15.2	10.2
YKN51	629317.898	4077408.371	629317.893	4077408.385	-0.5	1.4	0.3	2.0

## 3. Detay Kontrol Noktalarının Koordinatları ve Farkları

	Kesin Koordinatlar		Ortofoto Koordinatlar		Farklar		Karesi	
D1	629194.644	4076835.389	629194.683	4076835.339	3.9	-5	15.2	25.0
D2	629235.42	4076826.42	629235.429	4076826.358	0.9	-6.2	0.8	38.4
D3	629233.307	4076825.532	629233.332	4076825.525	2.5	-0.7	6.3	0.5
D4	629233.025	4076820.65	629233.037	4076820.578	1.2	-7.2	1.4	51.8
D5	629230.967	4076819.672	629230.966	4076819.664	-0.1	-0.8	0.0	0.6
D6	629242.347	4076824.849	629242.285	4076824.879	-6.2	3	38.4	9.0
D7	629239.853	4076823.8	629239.839	4076823.831	-1.4	3.1	2.0	9.6
D8	629230.371	4076933.316	629230.407	4076933.346	3.6	3	13.0	9.0
D9	629232.067	4076938.113	629232.117	4076938.12	5	0.7	25.0	0.5
D10	629239.788	4076958.302	629239.796	4076958.349	0.8	4.7	0.6	22.1
D11	629246.477	4077011.679	629246.538	4077011.711	6.1	3.2	37.2	10.2
D12	629247.449	4077015.451	629247.455	4077015.448	0.6	-0.3	0.4	0.1
D13	629254.657	4077195.132	629254.682	4077195.164	2.5	3.2	6.3	10.2
D14	629254.804	4077198.634	629254.811	4077198.648	0.7	1.4	0.5	2.0
D15	629270.778	4077186.702	629270.805	4077186.644	2.7	-5.8	7.3	33.6
D16	629282.577	4077188.925	629282.612	4077188.948	3.5	2.3	12.2	5.3
D17	629286.566	4077189.689	629286.548	4077189.69	-1.8	0.1	3.2	0.0
D18	629267.718	4077294.006	629267.702	4077294.002	-1.6	-0.4	2.6	0.2
D19	629026.115	4077886.525	629026.095	4077886.517	-2	-0.8	4.0	0.6
D20	629027.505	4077887.908	629027.508	4077887.891	0.3	-1.7	0.1	2.9
D21	629028.103	4077887.347	629028.105	4077887.367	0.2	2	0.0	4.0
D22	629028.811	4077888.047	629028.818	4077888.067	0.7	2	0.5	4.0
D23	629028.273	4077888.639	629028.293	4077888.643	2	0.4	4.0	0.2
D24	629029.684	4077890.018	629029.687	4077890.005	0.3	-1.3	0.1	1.7
D25	629024.351	4077888.257	629024.358	4077888.255	0.7	-0.2	0.5	0.0
D26	629027.958	4077891.774	629027.962	4077891.768	0.4	-0.6	0.2	0.4
D27	628980.854	4077869.624	628980.863	4077869.635	0.9	1.1	0.8	1.2
D28	628985.748	4077865.66	628985.767	4077865.667	1.9	0.7	3.6	0.5
D29	629060.142	4078064.241	629060.145	4078064.258	0.3	1.7	0.1	2.9
D30	629064.498	4078071.295	629064.493	4078071.282	-0.5	-1.3	0.3	1.7



© Author(s) 2022.

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





## İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri

Osman Villi<sup>1</sup>, Murat Yakar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Mersin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

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

### ÖZ

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

## Usage Areas and Sensor Types of Unmanned Aerial Vehicles

### Keywords

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

### ABSTRACT

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

## 1. GİRİŞ

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

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

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

## 2. İHA GENEL YAPISI

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

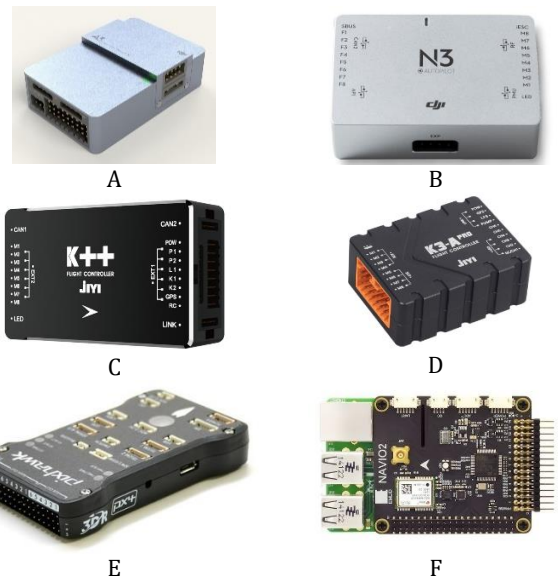


Şekil 1. Karbon fiber kompozitten üretilmiş bir octocopter İHA gövdesi (Villi, 2019).

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

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

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



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

## 2.1. İHA'ların Sınıflandırılması

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

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

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

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

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

Genel olarak üzerinde durulan sınıflandırma Tablo 2' de gösterilmektedir.

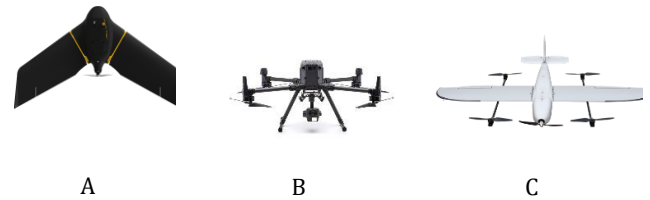
Literatürde kapsamlı sınıflandırma metodolojileri olsa da sivil amaçlı İHA'lar genellikle kanat tiplerine göre sınıflandırılmakta ve 3 ana guruba ayrılmaktadır (Vergouw vd., 2016). Bunlar; sabit kanat (fixed wing), döner kanat (rotary wing) ve hibrit tiptir (VTOL-Vertical Takeoff Landing) (Şekil 3).

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

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

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

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

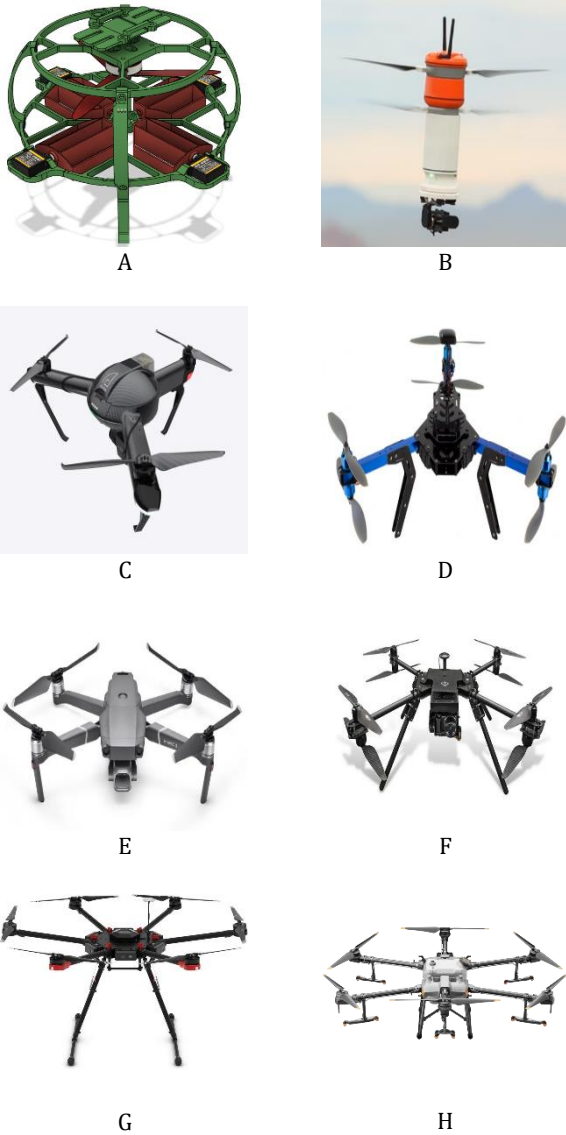


**Şekil 3.** Kanat tiplerine göre sivil amaçlı İHA'lar ( A: fixed wing, B: rotary wing, C: VTOL) (A: Xbee X, B: DJI Matrice 300 RTK, C: Foxtech Loong 2160)

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

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

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

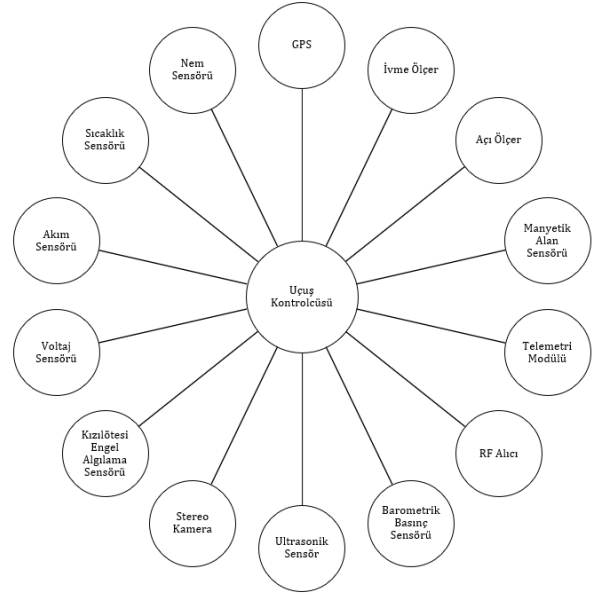


**Şekil 4.** Rotary wing İHA tipleri. (A: Arge amaçlı geliştirilen bir monocopter, B: Ascent Aerosystems firmasının geliştirdiği Sprite model bicopter, C: Xiaomi tarafından geliştirilen Erida model tricopter, D: Tarot firması tarafından geliştirilen Y6 tip tricopter, E: DJI firması tarafından geliştirilen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

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

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

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



**Şekil 5.** İHA sisteminin uçuş kontrol sistemi bileşenleri.

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

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



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

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

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

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

### 3. İHA'DA KULLANILAN FAYDALI YÜK TİPLERİ

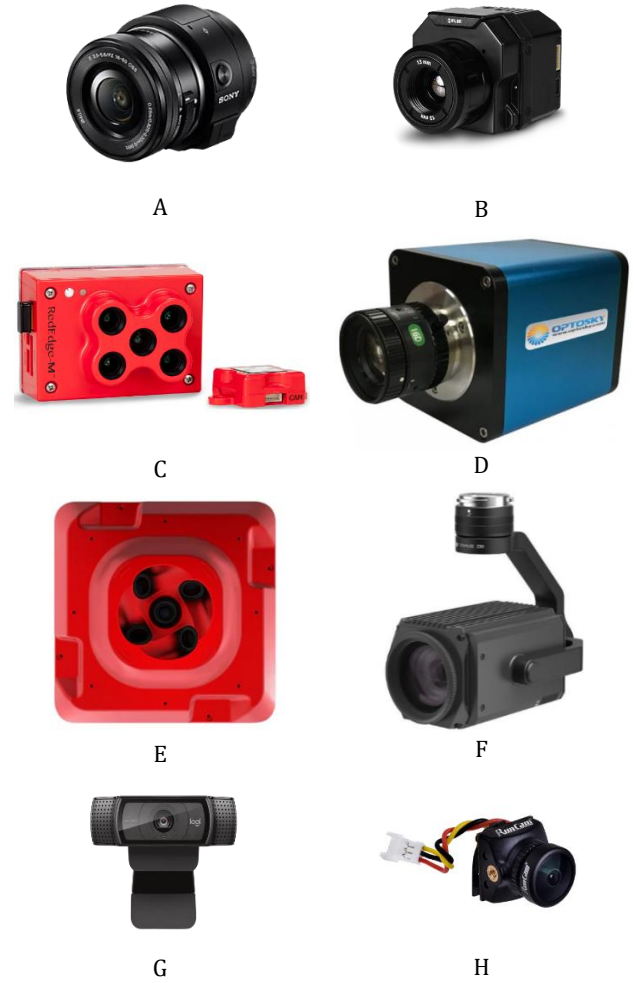
Bir İHA sisteminin ana amacı, taşıdığı faydalı yük/yükler (payload) ile veri toplamaktır (Fahlstrom vd., 2022). İHA'ların hangi görev için tasarlandığına bağlı olarak faydalı yük tipleri ve sayıları da değişkenlik göstermektedir. Literatür genelinde amaçlarına göre, 3 farklı faydalı yük tipi ortaya atılmıştır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

**Tablo 3.** Görevlerine göre faydalı yük tipleri yaklaşımı.

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

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

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



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

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



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



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



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



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



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

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



A



B



C

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

#### 4. İHA KULLANIM ALANLARI

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

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

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

#### 4.1. Harita Mühendisliği Uygulamaları

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

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

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

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

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

katkısının çalışmada iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

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

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

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



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

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

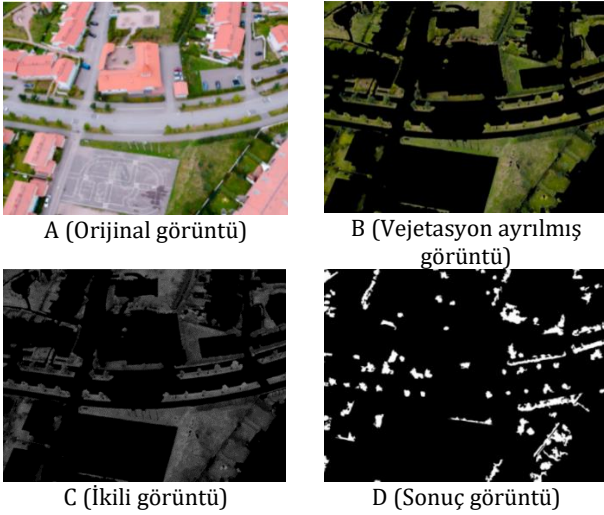
Binaların yoğun bulunduğu veya yüzey modelinin çok sık değiştiği zorlu arazi modellerinin haritalanması, klasik hava fotogrametrisi ile yapılabilsede hata oranları ve hassasiyet değerleri yüksek olmaktadır (Aicardi vd., 2016; Rossi vd., 2017; Vacca vd; 2017). Özellikle şehir merkezleri gibi yüksek yapıların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





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

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



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

#### 4.2. Doğal Afet Yönetimi Uygulamaları

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

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

#### 4.2.1. Heyelan Analiz Uygulamaları

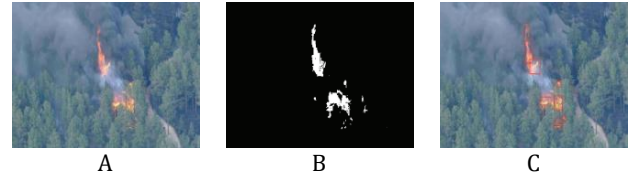
Alptekin & Yakar, (2020) yaptıkları çalışmada, bir heyelan bölgesinin (Mersin İli Yenişehir İlçesi Çukurkeşlik Mahallesi) İHA ile modellenmesini ve bölgenin kayıt altına alınmasını sağlamışlardır. Çalışmalarında, Anafi Parrot model bir *quadcopter* kullanmışlardır. Elde ettikleri verileri Agisoft Metashape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

#### 4.2.2. Sel Felaketi Analiz Uygulamaları

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

#### 4.2.3. Yangın Tahmin, İzleme ve Hasar Tespit Uygulamaları

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



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

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



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

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

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

#### 4.2.4. Erozyon Tespit Uygulamaları

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

#### 4.2.5. Arama ve Kurtarma Uygulamaları

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

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

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

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

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

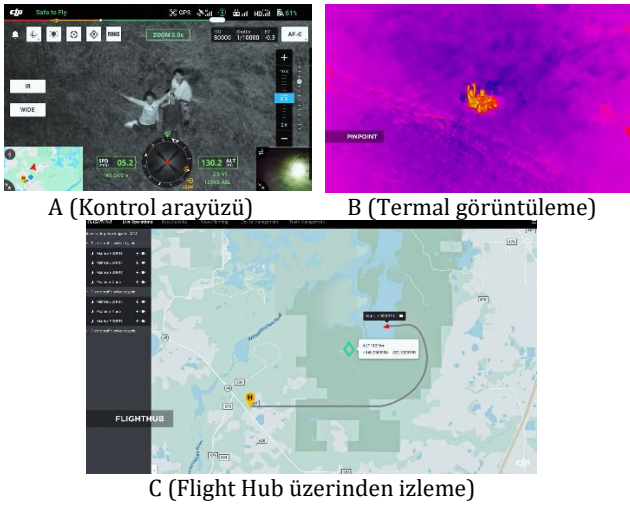
#### 4.2.6. Kazazede/Afetzede Bulma ve Koordinat Tespit Çalışmaları

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



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

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



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

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

### 4.3. Hassas Tarım Uygulamaları

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

#### 4.3.1. İndeks Haritası Oluşturma ve Analiz

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

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

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

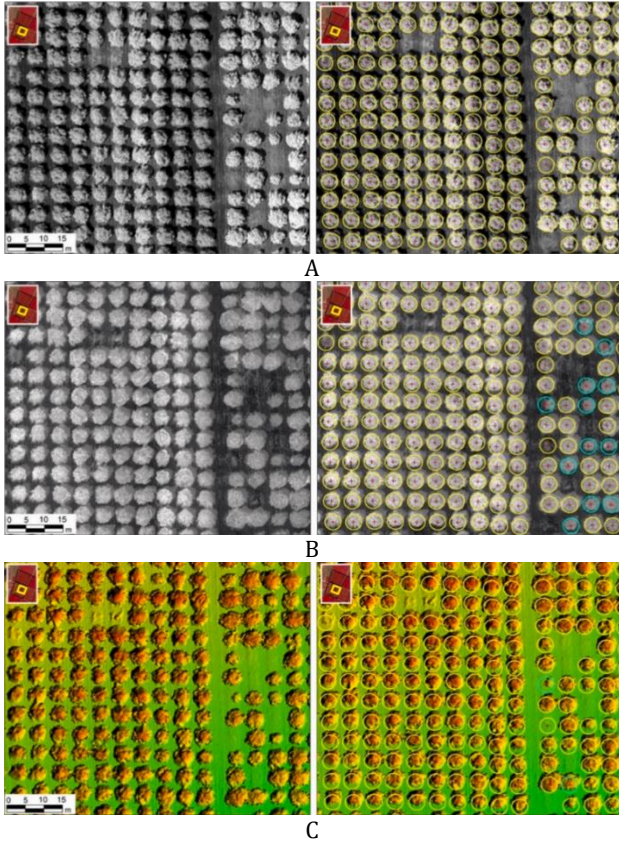
**Şekil 21.** NDVI formülü (I: Görüntüdeki her bir piksel değeri, NIR: Near infrared bantlı görüntü, RED: Red bantlı görüntü).

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

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

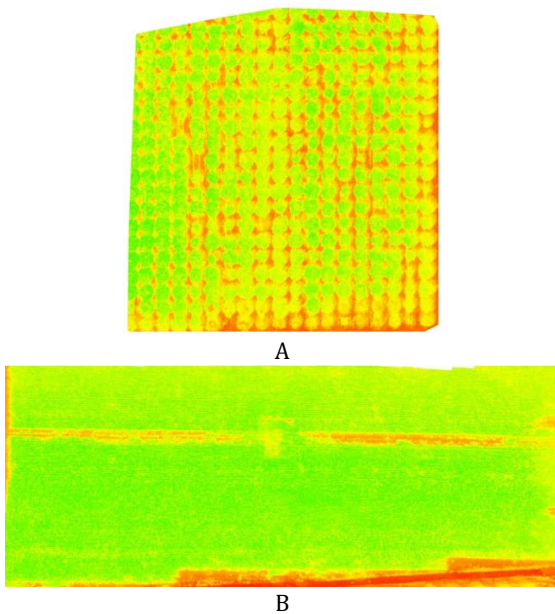
**Tablo 4.** Tarımsal alanların analizinde sıklıkla kullanılan bazı indeksler (Jang vd., 2020; Ge vd., 2019).

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



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

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



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

#### 4.3.2. Zirai İlaçlama

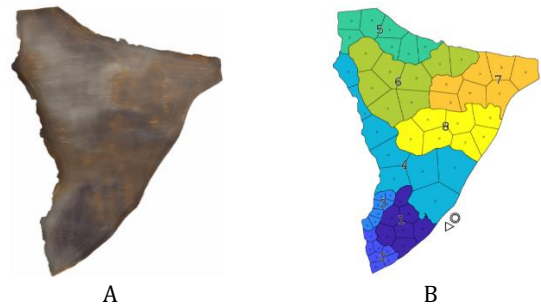
(Garre & Haris, 2018) yaptıkları çalışmada, zirai alanların İHA ile ilaçlanması için bir sıvı püskürtme sistemi geliştirmişlerdir. *Quadcopter* tip bir İHA üzerine entegre ettikleri sıvı tankı ve püskürtme sistemi sayesinde zirai alanların otonom şekilde ilaçlanmasını amaçlamışlardır. Mission Planner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

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

#### 4.3.3. Toprak Analizi

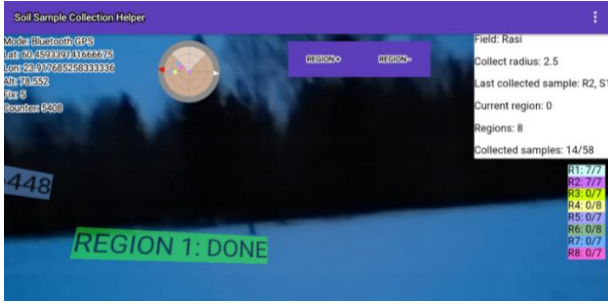
Ge vd., (2019) toprak nem haritası oluşturmak için hiperspektral sensör entegreli İHA ile görüntüler toplamışlardır. Alınan görüntüleri sınıflandırmak için rastgele orman (RF-Random Forest) algoritması ve aşırı öğrenme makineleri (EML-Extreme Machine Learning) teknikleri kullanmışlardır. Önceden oluşturulmuş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

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



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

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



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

#### 4.3.4. Su Stresi Analizi ve Bitki Sulama Planlaması

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

#### 4.3.5. Bitki/Ağaç Tespiti ve Sayısı Hesaplama

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

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

#### 4.3.6. Rekolte Tahmini

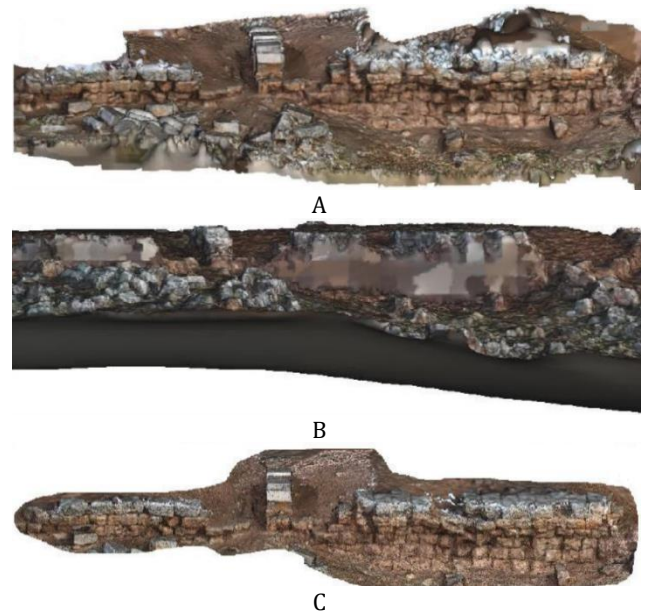
Tanut vd., (2021) yaptıkları çalışmada, şeker kamışı verim tahmini için bir model geliştirmişlerdir. Phantom 4 RTK model *quadcopter* ile 200-300 metre irtifadan aldıkları görüntüler ve şeker fabrikaları ile devlet kurumlarından aldıkları verileri bütünleştirmişlerdir. MATLAB bilgisayar yazılımı üzerinden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

#### 4.4. Arkeolojik Uygulamalar

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

##### 4.4.1. Arkeolojik Alanların Haritalanması

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



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

#### 4.4.2. Arkeolojik Alanların 3B Modellenmesi

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



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

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



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

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

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

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

#### 4.4.4. Arkeolojik ve Mimari Eserlerin Rölöve Çalışmaları

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

#### 4.4.5. Arkeolojik Alanlarda Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları

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

## 4.5. Çevre ve Doğa Uygulamaları

### 4.5.1. Yaban Hayatı ve Endemik Tür İzleme

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

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

### 4.6. İnşaat Mühendisliği Uygulamaları

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

#### 4.6.1. Yapı Hasar Tespit ve Restorasyon Çalışmaları

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



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

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



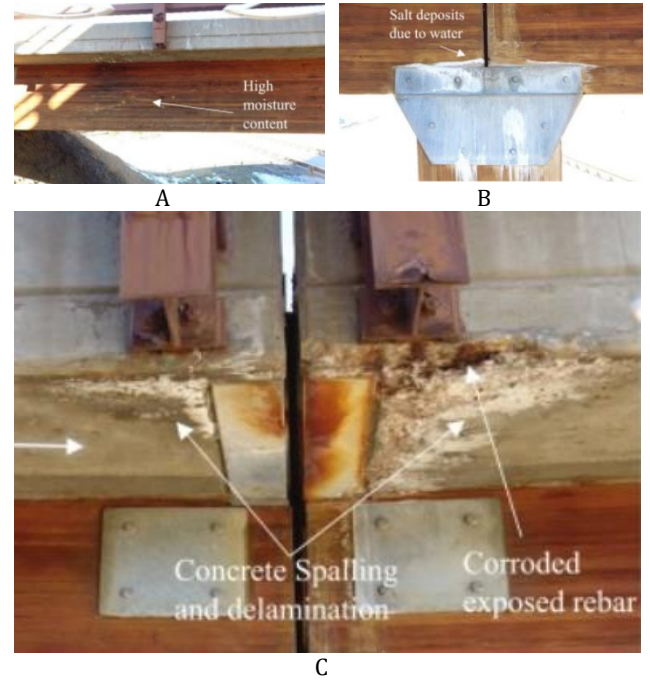
A (Orijinal görüntü)



B (Görüntü işleme sonucu otomatik tespit)

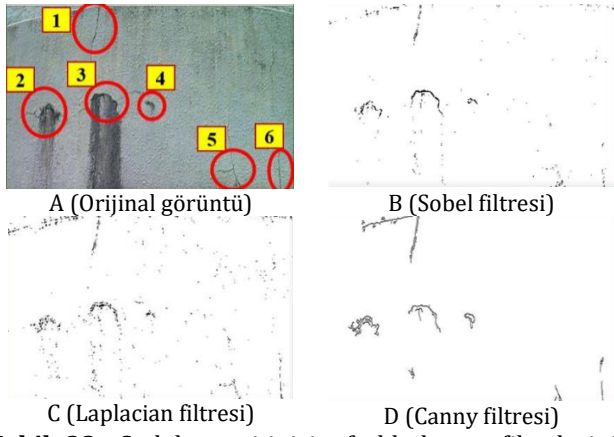
**Şekil 30.** Görüntü işleme teknikleri kullanarak otomatik çatlak tespiti (Morgenthal & Hallerman, 2014).

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



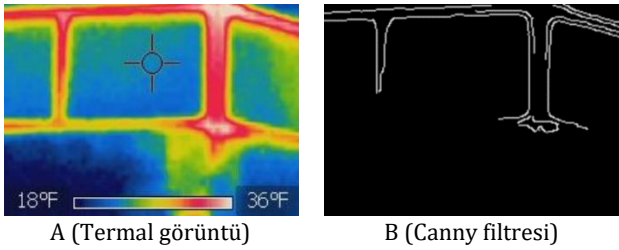
**Şekil 31.** Ahşap kirişli köprü denetiminde elde edilen veriler, A: Yüksek nem, B: Tuz birikintisi, C: Korozyona uğramış demir, beton dökülmesi ve delaminasyon (Junwon vd., 2018).

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



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

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



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

#### 4.6.2. Çatı Yalıtımı İzleme ve Denetleme

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

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

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

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

#### 4.6.3. Yol Yapım Çalışmaları

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

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

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

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

#### 4.7. Madencilik Uygulamaları

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

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

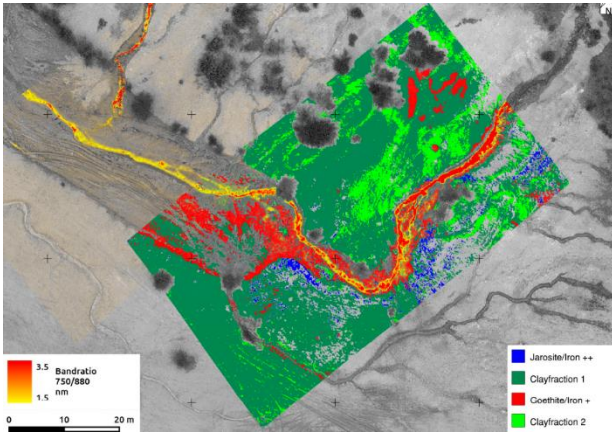
Yer Üstü Madencilik	Yer Altı Madencilik	Terk Edilmiş Maden Alanı
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maden saha yönetimi</li> <li>• 3D haritalama</li> <li>• Şev stabilite analizi</li> <li>• Maden saha güvenliği</li> <li>• Yapı izleme</li> <li>• Tesis izleme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: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



#### 4.7.1. Maden Sahası Haritalama ve Mineral Tespit Çalışmaları

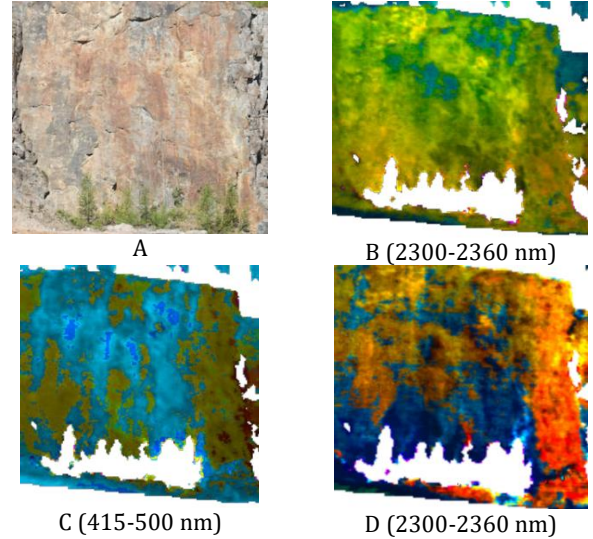
Honkavaara vd., (2016), turba üretimi yapılan bölgenin üç boyutlu modellenmesi ve yüzey neminin hesaplanması için farklı tip hiperspektral kamera taşıyan 2 İHA (*octocopter* ve *hexacopter*) kullanmışlardır. Bölgeden alınan fotoğrafları Agisoft Photoscan bilgisayar yazılımı ile birleştirmişlerdir. Elde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

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



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

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



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

#### 4.8. Lojistik Uygulamaları

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

##### 4.8.1. İlaç Taşımacılığı

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

##### 4.8.2. Kargo Taşımacılığı ve Sipariş Teslimat Uygulamaları

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

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

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

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

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

## 4.9. Ticari Uygulamalar

### 4.9.1. Film Endüstrisi Uygulamaları

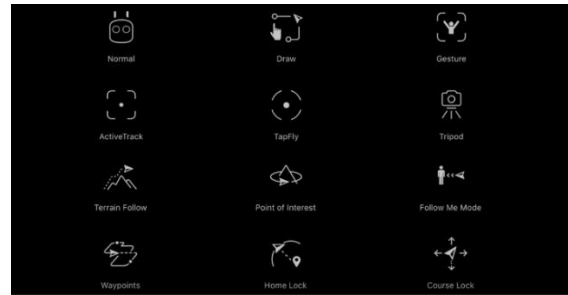
Sinema, dizi, reklam veya müzik klipi hazırlamak uzun zaman alan süreçlerdir. Birkaç dakikalık sahneler bile günler süren çekimler ve montaj işlemlerinden geçmektedir (Akgüç, 2021). Film endüstrisinde İHA'ların kullanımı zaman ve maliyet açısından büyük kolaylıklar sağlamaktadır. İHA'larda bulunan veya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

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

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

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

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



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

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



A (Orijinal görüntü)



B (ND filtre kullanılarak çekilmiş görüntü)

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

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

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

#### 4.9.2. Emlak Değerleme

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

#### 4.9.3. Sigortacılık Uygulamaları

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

#### 4.10. Endüstriyel Uygulamalar

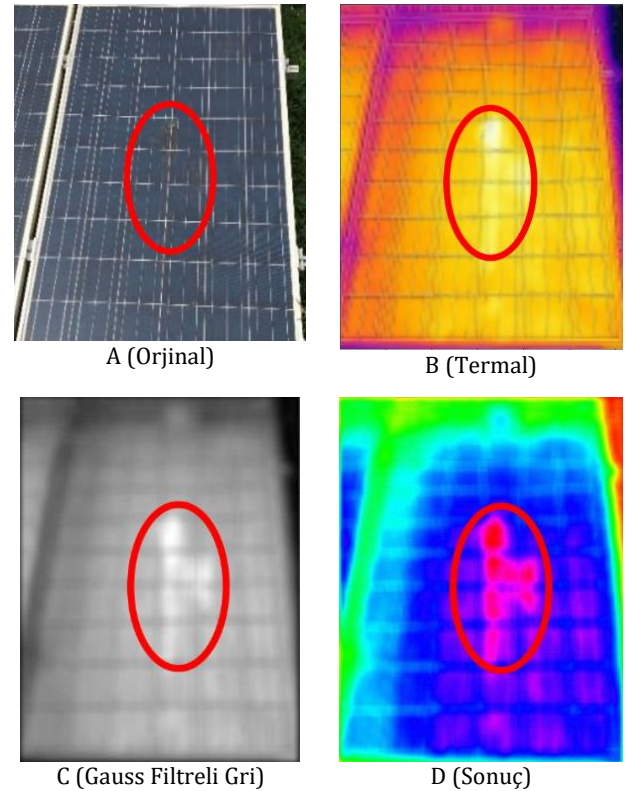
Enerji, insan hayatının vazgeçilmez unsurlarından biridir. Ülkelerin gelişiminde, dolayısı ile sosyal refahın artırılmasında büyük role sahip olmaya devam etmektedir (Öztürk, 2013). Bu kapsamda, ülkeler, çeşitli kurum ve kuruluşlar enerji kaynaklarının ortaya çıkarılması, enerji üretilmesi, dönüşümü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

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

##### 4.10.1. Solar Panel İzleme ve Denetleme

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

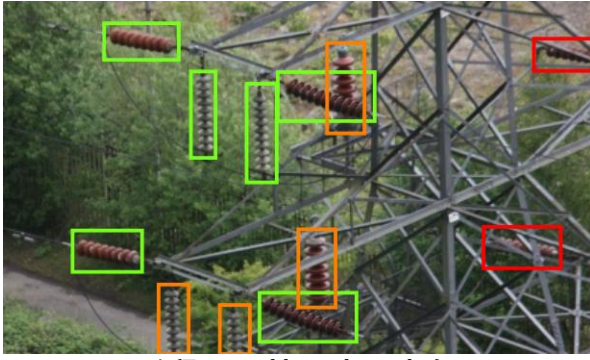
(Liao & Lu, 2021) yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi çiftliklerinde arıza tespiti yapabilen İHA sistemi üzerinde çalışmışlardır. *Hexacopter* tip İHA üzerinde entegre ettikleri Flir Duo R model termal kamera ile güneş panellerinin üzerinden görüntüler toplamışlardır. Görüntüleri anlık olarak yer kontrol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



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

##### 4.10.2. Yüksek Gerilim Hattı İzleme ve Denetleme

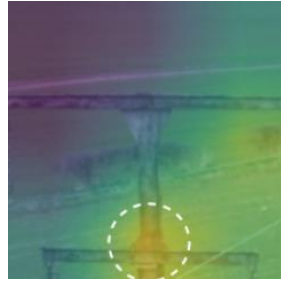
Odo vd., (2022), elektrik iletim hattı kulelerinde kullanılan elemanların, derin öğrenme algoritmalarıyla analizi üzerine çalışmışlardır. 7000 elektrik kulesinden elde edilen 300.000 hava fotoğrafı verisini kullanarak, iletim hattı kulesi elemanlarının sınıflandırmasını yapmış ve arızaların tespit edilebileceğini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



A (Tespit edilmiş elemanlar)



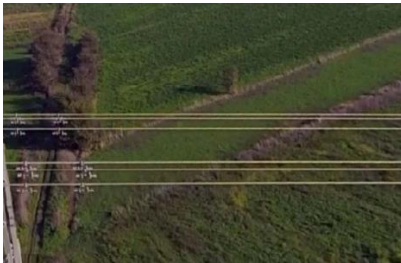
B (Orjinal)



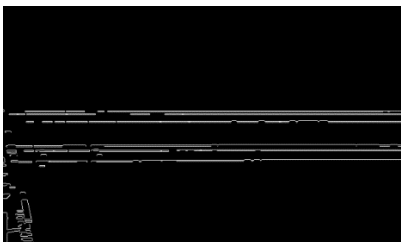
C (Paslanma tespiti)

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

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



A (Orijinal görüntü)



B (Filtreden geçmiş görüntü)



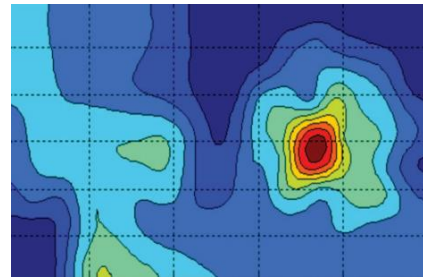
C (Sonuç görüntüsü)

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

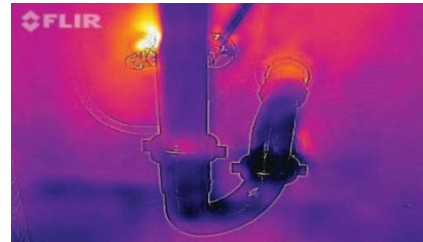
#### 4.10.3. Gaz Ölçümleri

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

Asad vd., (2017) çalışmalarında, DJI Matrice 100 model bir *quadcopter* kullanarak gaz tespiti yapmışlardır. Faydalı yük olarak, gaz sensörü ve termal kamera kullanmışlardır. CO, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gaz yoğunluklarını algılayabilen faydalı yükten aldıkları veriler ve GPS verileri, ArcGIS Pro bilgisayar yazılımında, nokta yoğunluk algoritması ile birleştirilmiştir. Elde ettikleri gaz yoğunluk haritası ve termal görüntü (GDM-Gas Distribution Mapping) Şekil 34' de görülmektedir.



A



B

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

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

#### 4.10.4. Petrol ve Gaz Boru Hattı İzleme ve Denetleme

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

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

#### 4.10.5. Rüzgar Türbini İzleme ve Denetleme

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

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

#### 4.10.6. Sayım Uygulamaları

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

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

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

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

#### 4.11. Askeri Uygulamalar

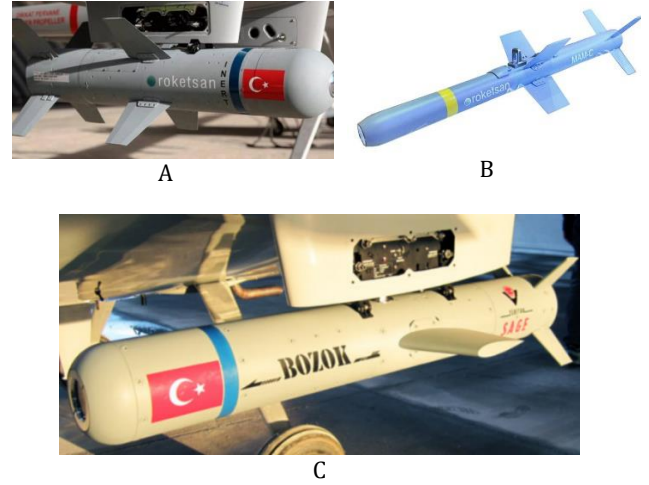
1900'lü yılların başında başlayan ilk İHA çalışmaları, başlarda yavaş ilerlese de sonraları yüksek ivme kazanmıştır (Vietnam Savaşı'ndaki etkilerinden dolayı). Birçok ülkenin yatırım yaptığı ve arge çalışmaları yürüttüğü askeri tip İHA'lar genellikle gözetçi, muharip, hem gözetçi hem muharip, yem, klavuz,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

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



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

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



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

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



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

#### 4.12. Hobi ve Spor Uygulamaları

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



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

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



**Şekil 46.** Bir FPV yarış parkuru (Anonim).

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



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

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



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

#### 4.13. Adli Uygulamalar

##### 4.13.1. Kaza Analizi

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

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

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



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

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

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

#### 4.14. Denizcilik ve Kıyı Güvenliği Uygulamaları

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

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

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

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

## 5. GELECEKTE İHA

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

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

## 6. SONUÇ

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

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

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

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

### Bilgilendirme/Teşekkür

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

### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### KAYNAKÇA

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

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



- Bento, M. D. F., (2008). Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *InsideGNSS*, Ocak/Şubat: 54-61.
- Bhandari, A. K., Kumar, A. & Singh, G. K. (2012). Feature Extraction Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A Case Study of Jabalpur City. *Procedia Technology*, 6, pp.612-621.
- Blyenburgh, P. (2006). UAV Systems: Global Review. Conference, Amsterdam, *The Netherlands*, 2006.
- Borky, J. M. (1997). Payload Technologies and Applications for Uninhabited Air Vehicles (UAVs). *1997 IEEE Aerospace Conference*, 1997, pp. 267-283 vol.3.
- Bown, M. & Miller, K. (2018). The Use of Unmanned Aerial Vehicles for Sloped Roof Inspections- Considerations and Constraints. *Journal of Facility Management Education and Research*, 2(1), 12-18.
- Bretschneider, T. R. & Shetti, K. (2015). UAV-Based Gas Pipeline Leak Detection. In Proc. of ARCS.
- Cai, G., Lum, K. Y., Chen, B. M. & Lee, T. H. (2010). A Brief Overview on Miniature Fixed-Wing Unmanned Aerial Vehicles. In *Proceedings of the IEEE ICCA 2010, Xiamen, China, 9-11 June 2010, IEEE: Piscataway, NJ, USA*, pp. 285-290.
- Campana, S. (2017). Drones in Archaeology. State-of-the-Art and Future Perspectives. *Archaeological Prospection*, 24(4), 275-296. doi:10.1002/arp.1569.
- Campbell, D. A. (2018). Drones, Machetes, and Virtual Reality: 21st-Century Tools for Historic Preservation. In *2018 3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE) Held Jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSM 2018)* (pp. 1-4). IEEE.
- Cengiz, Ç. & Çelik, B. (2021). İnsansız Hava Araçlarında Elektro-Optik Kamera Yerleşim Tasarımı. *Journal of Aviation Research*, 3 (1), 53-62. DOI: 10.51785/jar.796510.
- Ceylan, M. C. & Uysal, M. (2021). İnsansız Hava Aracı ile Elde Edilen Veriler Yardımıyla Ağaç Çıkarımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3 (1), 15-21.
- Chang-chun, L., Guang-sheng, Z., Tian-jie, L. & A-du, G., (2011). Quick Image-Processing Method Of UAV Without Control Points Data İn Earthquake Disaster Area. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 21 (2011), pp.523-528.
- Chen, B. & Miao, X. (2020). Distribution Line Pole Detection and Counting Based on YOLO Using UAV Inspection Line Video. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15(1), 441-448.
- Cilek, A., Berberoglu, S., Donmez, C. & Cilek, M. U. (2020). Journal of Digital Landscape Architecture. *5-2020*, pp. 275-284.
- Cömert, R., Şenkal, E. & Avdan, U. (2012). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19 Ekim 2012, Zonguldak.
- Çalışkan, T. B. & Erturgut, R. (2022). Lojistik Faaliyetlerde İHA Kullanımı: İHA Pilotları Üzerinde Bir Araştırma. *Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4 (1), 1-16.
- DHL (2022). DHL's Parcelcopter: Changing Shipping Forever. <https://www.dhl.com/discover/en-my/business/business-ethics/parcelcopter-drone-technology/>, Accessed 29.06.2022.
- DJI (2020). DJI Matrice 300 RTK. <https://www.dji.com/matrice-300/>, Accessed 07.07.2022.
- DJI Agras T30, (2022). DJI Agras T30 Teknik Özellikleri. <https://www.dji.com/t30/>, Accessed 17.06.2022.
- DJI U10 Laser Methane Leakage Detector, (2020). <https://enterprise-insights.dji.com/blog/m300-third-party-payloads/>, Accessed 20.06.2022.
- Doğan, Y. & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (2), 50-55.
- Donmez, C., Villi, O., Berberoglu, S. & Cilek, A. (2021). Computer Vision-Based Citrus Tree Detection in a Cultivated Environment Using UAV Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 187 (2021), 106273.
- Duan, G. J. & Zhang, P. F. (2014). Research on Application of UAV for Maritime Supervision. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 4, 322-326.
- Ebeid, E. S. M., Skriver, M. & Jin, J. (2017). A Survey on Open-Source Flight Control Platforms of Unmanned Aerial Vehicle. In *Proc. Euromicro Conf. Digit.Syst. Design (DSD)*, Aug. 2017, pp. 1-7.
- Elmas, E. E. (2019). Bir İnsansız Hava Aracı Gerçekleştirme ve Hareketli Nesnelerin Tespit ve Takibinde Kullanımı. *Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 122s.
- Emergenresearch (2022). Top 10 Companies in the Drone Package Delivery Industry. <https://www.emergenresearch.com/blog/top-10-companies-in-the-drone-package-delivery-industry/>, Accessed 29.06.2022.
- Fahlstrom, P. G., Gleason, T. J. & Sadraey, M. H. (2022). Introduction to UAV Systems Fifth Edition. *John Wiley & Sons, Inc.*, ISBN:978-1-119-80263-1, 464s.
- Firefly (2022). Firefly Drone Shows. <https://www.fireflydrones.com/>, Accessed 29.06.2022.
- Garre, P. & Harish, A. (2018). Autonomous Agricultural Pesticide Spraying UAV. *IOP Conference Series: Materials Science Engineering*, 455, doi:10.1088/1757-899X/455/1/012030.
- Ge, X., Wang, J., Ding, J., Cao, X., Zhang, Z., Liu, J. & Li, X. (2019). Combining UAV-Based Hyperspectral Imagery and Machine Learning Algorithms for Soil Moisture Content Monitoring. *PeerJ* 7:e6926 DOI 10.7717/peerj.6926.
- Goodrich, M. A., Morse, B. S., Gerhardt, D., Cooper, J. L., Quigley, M., Adams J A & Humphrey C (2008). Supporting Wilderness Search and Rescue Using a Camera-Equipped Mini UAV. *Journal of Field Robotics*, 25(1-2), 89-110.
- Güçlü, A., Kurtuluş, D. F. & Arıkan, K. B. (2016). Sabit ve Döner Kanatlı Hava Aracının Yönelim Dinamiklerinin Hibrit Denetimi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1(2), 65-73.
- Güleç Korumaz, A., Dülgerler, O. N. & Yakar, M. (2011). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Dijital Yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26 (3), 67-83.
- Güner, S., Rathnayake, D., Ahmadi, N. B. & Kim, B. (2017). Using Unmanned Aerial Vehicles—Drones as a

- Logistic Method in Pharmaceutical Industry in Germany. *Aviation*, 1, 1-11.
- Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J. & Strachan, I. B. (2004). Hyperspectral Vegetation Indices and Novel Algorithms for Predicting Green LAI of Crop Canopies: Modeling and Validation in the Context of Precision Agriculture. *Remote Sensing of Environment*, Vol:90, Issue 3, 2004 (pp.337-352).
- Hassanalain, M. & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, Applications and Design Challenges of Drones: A Review. *Prog. Aerosp. Sci.* 2017, 91.
- Helicomicro (2017). La BMW Serie 1 et Mr Steele. <https://www.helicomicro.com/2017/05/16/la-bmw-serie-1-steele/>, Accessed 09.09.2022.
- Hildebrand, J. (2017). Situating Hobby Drone Practices. *Digital Culture & Society*, 3(2), 207-218.
- Honkavaara, E., Eskelinen, M. A., Pölonen, I., Saari, H., Ojanen, H., Mannila, R., Holmlund, C., Hakkala, T., Litkey, P., Rosnell, T., Viljanen, N. & Pulkkanen, M. (2016). Remote Sensing of 3-D Geometry and Surface Moisture of a Peat Production Area Using Hyperspectral Frame Cameras in Visible to Short-Wave Infrared Spectral Ranges Onboard a Small Unmanned Airborne Vehicle (UAV). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, no. 9, pp. 5440-5454, Sept. 2016, doi: 10.1109/TGRS.2016.2565471.
- Huuskonen, J. & Oksanen, T. (2018). Soil Sampling with Drones and Augmented Reality in Precision Agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 154 (2018), pages 25-35.
- Hwang, Y. S., Schlüter, S., Lee, J. J. & Um, J. S. (2021). Evaluating the Correlation between Thermal Signatures of UAV Video Stream versus Photomosaic for Urban Rooftop Solar Panels. *Remote Sensing*, 2021; 13(23):4770.
- Irizarry, J., Gheisari, M. & Walker, B. (2012). Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools. *ITcon* Vol. 17, page 194-212.
- Jackisch, R., Lorenz, S., Zimmermann, R., Möckel, R. & Gloaguen, R. (2018). Drone-Borne Hyperspectral Monitoring of Acid Mine Drainage: An example from the Sokolov Lignite District. *Remote Sensing*, 10(3), 385.
- Jang, G., Kim, J., Yu, J., Kim, H., Kim, Y., Kim, D., Kim, K., Lee, C. & Chung, Y. (2020). Review: Cost-Effective Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Platform for Field Plant Breeding Application. *Remote Sens.* 2020, 12, 998; doi:10.3390/rs12060998.
- Jayapandian, N. (2019). Cloud Enabled Smart Firefighting Drone Using Internet of Things. *2019 International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, 2019, pp. 1079-1083, doi: 10.1109/ICSSIT46314.2019.8987873.
- Jiao, Z., Zhang, Y., Xin, J., Mu, L., Yi, Y., Liu, H., & Liu, D. (2019). A Deep Learning Based Forest Fire Detection Approach Using UAV and Yolov3. *In 2019 1st International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI)* (pp. 1-5). IEEE.
- Junwon, S., Duque, L. & Wacker, J. (2018). Drone-Enabled Bridge Inspection Methodology and Application. *Automation and Construction*. Volume 94, October 2018, pp. 112-126.
- Kahveci, M. & Can, N. (2017). İnsansız Hava Araçları: Tarihçesi, Tanımı, Dünyada ve Türkiye'deki Yasal Durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Karaağaç, C. (2014). Geleceğin Harekât Ortamında İHA Sistemleri: Askeri Uygulamalar & Teknoloji Gereksinimleri. *III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı, İstanbul, 2014*.
- Karaağaç, C. (2016). İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050. *STM-Mühendislik Teknolojik Danışmanlık*.
- Karataş, L., Alptekin, A., Kanun, E. & Yakar, M. (2022). Tarihi kârgir yapılarda taş malzeme bozulmalarının İHA fotogrametrisi kullanarak tespiti ve belgelenmesi: Mersin Kanlıdivane ören yeri vaka çalışması. *İçel Dergisi*, 2(2), 41-49.
- Kaya, Y., Polat, N., Şenol, H. İ., Memduhoglu, A. & Ulukavak, M. (2021). Arkeolojik Kalıntıların Belgelenmesinde Yersel ve İHA Fotogrametrisinin Birlikte Kullanımı. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 09-14.
- Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. & Yakar, M. (2021). Arkeolojik alanların dokümantasyonunda fotogrametrik tekniklerinin doğruluklarının karşılaştırmalı analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.
- Khadka, A., Fick, B., Afshar, A., Tavakoli, M. & Baqersad, J. (2020). Non-Contact Vibration Monitoring of Rotating Wind Turbines Using a Semi-Autonomous UAV. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106446.
- Kınalı, M. & Çalışkan, E. (2022). Use of Unmanned Aerial Vehicles in Forest Road Projects. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 24(3), 1-1.
- Kirsch, M., Lorenz, S., Zimmermann, R., Tusa, L., Möckel, R., Hödl, P., Booyen, R., Khodadadzadeh, M. & Gloaguen, R. (2018). Integration of Terrestrial and Drone-Borne Hyperspectral and Photogrammetric Sensing Methods for Exploration Mapping and Mining Monitoring. *Remote Sensing*, 10(9), 1366.
- Köşe, K. & Aksoy, T. (2022). İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Üzerine Bir Çalışma. *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 5(1), 77-89.
- KraftTeknik Gaz Ölçüm Cihazları (2022). [http://www.kraftteknik.com/urun/cnt.php?kid=121&kad=gaz-olcum-cihazlari\\_gaz-olcum-analiz-cihazlari/](http://www.kraftteknik.com/urun/cnt.php?kid=121&kad=gaz-olcum-cihazlari_gaz-olcum-analiz-cihazlari/), Accessed 20.06.2022.
- Kusak, L., Unel, F., Alptekin, A., Celik, M. & Yakar, M. (2021). Apriori Association Rule and K-Means Clustering Algorithms for Interpretation of Pre-Event Landslide Areas and Landslide Inventory Mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- Kwon, W., Park, J. H., Lee, M., Her, J., Kim, S. H. & Seo, J. W. (2019). Robust Autonomous Navigation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Warehouses' Inventory Application. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(1), 243-249.
- Lee, S. & Choi, Y. (2016). Reviews of Unmanned Aerial Vehicle (Drone) Technology Trends and its Applications in the Mining Industry. *Geosyst. Eng.* 2016, 19, 197-204.
- Lentatek (2022). Karayel-Su Taktik İHA Sistemi. <https://lentatek.com/tr/cozumler/karayel-su-taktik-iha-sistemi/>, Accessed 05.07.2022.

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

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

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



© Author(s) 2022.

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