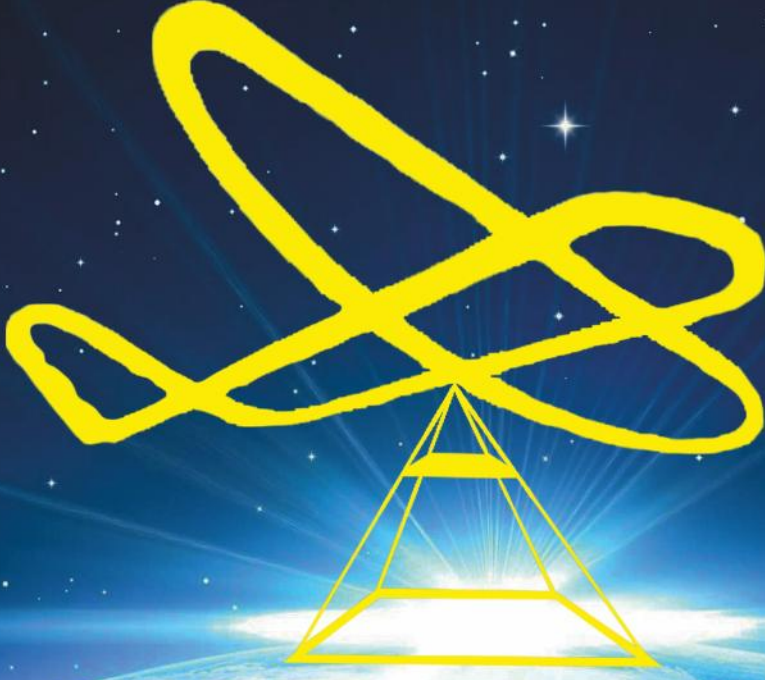


TÜRKİYE
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI DERGİSİ



Cilt/Volume: 2
Sayı/Issue: 2
Aralık/December
2020

e-ISSN 2687-6094



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi
Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles

Dergi Hakkında

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak İnsansız Hava Araçlarının yer bilimleri ilgili yapılan çalışmaları yayınlayan ve Uluslararası İndeks ve Veri tabanlarında taranan bir dergidir.

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 işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- ✚ Türkçe'nin İnsansız Hava araçları alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirme amaçlarına sahiptir.

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisinin kapsamı;

- ✓ Temel İnsansız Hava Araçları Uygulamaları,
- ✓ İHA Fotogrametrisi ve İHA ile uzaktan algılama,
- ✓ İHA Lidar ve uygulamaları,
- ✓ İHA ile Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları,
- ✓ İHA ile Endüstriyel ölçmeler,
- ✓ İHA ile deformasyon 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

aulvi78@gmail.com



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi
Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ

Mersin Üniversitesi, FBE / Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Dr. Öğr. Üyesi Osman ORHAN

Mersin Üniversitesi, FBE / Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri
Mersin

EDİTÖR KURULU

- **PROF. DR. MURAT YAKAR,**
myakar@mersin.edu.tr
MERSİN ÜNİVERSİTESİ
- **PROF. DR. HACI MURAT YILMAZ,**
hmuraty@gmail.com
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ

DANIŞMA KURULU

- **PROF. DR. İBRAHİM YILMAZ,**
iyilmaz@aku.edu.tr
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. MURAT UYSAL,**
muyisal@aku.edu.tr
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. FERRUH YILMAZTÜRK,**
yilmazturk@aksaray.edu.tr
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. Bilgehan KEKEÇ,**
kekec@ktu.edu.tr
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. HAYRİ ULVİ,**
hayriulvi@gmail.com
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
- **DOÇ. DR. ERAY TULUKÇU,**
eraytulukcu@selcuk.edu.tr
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ NİZAR POLAT,**
nizarpolat@harran.edu.tr
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ ALPER AKAR,**
alperakar@erzincan.edu.tr
ERZİNCAN BİNALI YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZLEM AKAR,**
oakar@erzincan.edu.tr
ERZİNCAN BİNALI YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET ALİ DERELİ,**
madereli@gmail.com
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ RESUL ÇÖMERT,**
rcmert@gumushane.edu.tr
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
- **DR. ÖĞR. ÜYESİ FATİH VAROL,**
fvarol@selcuk.edu.tr
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
- **DR. MUSTAFA ÜSTÜNER,**
mustuner@artvin.edu.tr
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ

Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi Dil Editörleri

PROF. DR. CENGİZ ALYILMAZ,

calyilmaz@uludag.edu.tr

Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Türk Dili ve Edebiyatı
Bölümü

DOÇ. DR. SAVAŞ ŞAHİN,

savassahin@akdeniz.edu.tr

Akdeniz Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü

Dergi Teknik Sorumlusu

Arş. Gör. Abdurahman Yasin YİĞİT

ayasinyyigit@mersin.edu.tr

Mersin Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü / Mersin

Mizanpaj Editörü

Arş. Gör. Yunus Kaya

yunuskaya@harran.edu.tr

Harran Üniversitesi, Harita Müh. Bölümü / Şanlıurfa

İçindekiler

Contents

Araştırma Makaleleri; Research Articles;

S. No	Makale Adı (Tr./Eng.) ve Yazar Adı Article Name (Eng./Tr.) and Author Name
36-42	<i>İnsansız Hava Araçları (İHA) Tehditleri ve Güvenlik Yönetimi (Threats of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Security Management)</i> Yusuf Mutlu GENÇ & Erdem ERCİYES
43- 48	<i>Yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti (Building detection from high resolution UAV data)</i> Adem KABADAYI & Murat UYSAL
49-54	<i>Donanmaların Etkinliğinin Artırılmasında İnsansız Hava Araçlarının Rolü (The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Increasing the Effectiveness of the Navy)</i> Celil Anıl KORKMAZ
55- 60	<i>Using of Hybrid Data Acquisition Technique for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis (Kültürel Miras için Hibrit Veri Toplama Tekniğinin Kullanılması: Pompeiopolis Örneği)</i> Seda Nur Gamze HAMAL, Binnaz SARI & Ali ULVİ
61-66	<i>İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilen Şeritvari Haritalardan Kübaj Hesabı (Contour Calculation from Stripe Maps Produced by Unmanned Aerial Vehicles (UAV))</i> Alperen ERDOĞAN & Ömer MUTLUOĞLU



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

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

e-ISSN 2687-6094



İnsansız Hava Araçları (İHA) Tehditleri ve Güvenlik Yönetimi

Yusuf Mutlu GENÇ¹, Erdem ERCİYES^{*1}

¹ Jandarma Genel Komutanlığı Strateji Başkanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İnsansız hava araçları
İnsansız hava aracı tehditleri
İnsansız hava aracı tedbirleri
Güvenlik yönetimi
Savunma yönetimi

ÖZ

Dünyanın 11 Eylül 2001'den sonra yaşadığı büyük güvenlik travması sonrasında yaşanabilecek yeni güvenlik tehditlerine karşı proaktif olarak geliştirilecek çalışmalar her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu kapsamda bu çalışmada insansız hava araçlarının (İHA) (İHA0 ve İHA1 sınıfındaki) kamu güvenliğine yönelik yarattığı potansiyel tehditler ile bunun karşılığında alınan ve alınabilecek tedbirler incelenmektedir. Bu inceleme nitel bir araştırma yöntemi benimsenerek keşifsel bir araştırma yapılmaktadır. Çalışmada insansız hava araçları ile ilgili mevzuatta ve güvenlik yönetimi alanlarında kapsamlı düzenleme yapılması ihtiyacı ortaya konulmaktadır. Ayrıca güvenliğin ulusal ve uluslararası aktörleriyle bilgi akışı sağlayabilecek İHA'ları tespit, teşhis, izleme ve etkisiz hale getirebilecek hava savunma sistemi kurulması gelecekte yapılacak çalışmalarda öncelikli çalışma olması gerektiği vurgulanmaktadır.

Threats of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Security Management

Keywords

Unmanned aerial vehicles
Threats of unmanned aerial vehicles
Countermeasures of unmanned aerial vehicles
Security management defence management

ABSTRACT

After the security trauma the world experienced after September 11, 2001, the studies to be developed proactively against the new security threats that may be experienced gain importance day by day. In this context, this study examines the potential threats posed by unmanned aerial vehicles (UAV) (UAV0 and UAV1 class) to public security and the measures taken and can be taken in return. This examination is carried out through an exploratory research by adopting a qualitative research method. The need for a comprehensive regulation in area of the legislation and security management on unmanned aerial vehicles is put forward in the study. In addition, it is emphasized that establishing an air defence system which can detect, diagnose, monitor and counteract UAVs and can provide information flow with national and international actors of security should be the priority work in the future researches.

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

(erdemerciyesh@yahoo.com), ORCID ID 0000-0002-7842-0967.
(yusufgenc@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-8552-9661

Cite this article (APA);

Genç Y M & Erciyesh E (2020). İnsansız hava araçları (İHA) tehditleri ve güvenlik yönetimi. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2(2), 36-42.

1. GİRİŞ

Günümüzde güvenlik ortamının en önemli alanlarından birini insansız hava araçları oluşturmaktadır. Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlüğüne (2020) göre insansız araç: “Belirli bir bölgenin güvenlik açısından gözetilmesi ve denetlenmesi amacıyla gerekli araçlarla donatılmış, uzaktan yönetilerek uçurulan araç” olarak tanımlanmaktadır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2020) ise insansız hava aracını (İHA): “İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin (İHAS) bir bileşeni olarak işletilen, aerodinamik kuvvetler aracılığıyla sürekli uçuş yapma yeteneğinde olan, üzerinde pilot bulunmaksızın uzaktan İHA pilotu tarafından kontrol edilerek veya otonom operasyonu İHA pilotu tarafından planlanarak uçurulan ya da havada kalabilen hava aracı” şeklinde tanımlamaktadır. Bu çalışmada, İHA tabirinden içinde pilot bulunmadan uçabilen tüm hava araçları anlaşılmalıdır.

Teknolojinin gelişmesiyle doğru orantılı olarak farklı çeşitlerde İHA’lar üretilmeye başlanmıştır. Bu çeşitlilik pratik gereklilikler bakımından İHA’ları sınıflandırma ihtiyacı doğurmuştur. İHA sınıflandırmasında en yaygın kullanılan yöntem, araçları ağırlıklarına göre sınıflandırmaktır. Nitekim Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2020) azami kalkış ağırlıkları referans alarak İHA’ları dört ayrı sınıfa ayırmaktadır:

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

Dünyadaki İHA sınıflandırmasına bakıldığında ABD, Kanada, AB, İngiltere, Çin, Hindistan, Malezya, Japonya ve Rusya mevzuatlarında da ufak tefek farklılıklarla beraber benzer düzenlemelerin olduğu görülmektedir. Kanada, Malezya, İngiltere gibi ülkeler İHA1 üst sınıfını 20 kilogram kabul etmektedirler (Hassanalien & Abdelkefi, 2017).

İHA’ların gün geçtikçe daha ucuz, daha küçük ve daha gelişmiş/kabiliyetli hale gelmesiyle devletlerin yanında devlet dışı aktörler de İHA’lara ciddi yatırım yapmaya başlamıştır. İHA’lar, askeri ve ticari alanlarda sağladıkları teknolojik imkânlarla karşılık kötü niyetli kişilerin elinde tehdit oluşturmaya da başlamıştır. Güvenlik açısından bakıldığında; İHA’ların özellikle asimetrik çatışmalarda öne çıktığı görülmektedir. Terör örgütleri gibi devlet dışı aktörler, yapılarında bulunan “yeniliklere çok kolay uyum sağlama” yetenekleriyle, mücadelenin gidişatını etkileyebilecek ölçüde yeni teknolojiler kullanmaktadırlar. Suriye ve Irak’taki çatışmalarda, en yoksul kabul edilen aktörler bile muharebe sahasına havadan etki edebilecek ölçüde İHA kullanmaktadır. Örneğin DEAŞ (Devlet-Al-İslamiya Fil Irak Wel Şam- Irak ve Şam Devleti), bomba yüklü araçları hedeflerine daha doğru yönlendirmek için İHA’lardan faydalanmaktadır (Balkan, 2019). Sadece Batı Musul operasyonunun ilk iki gününde DEAŞ tarafından 125 İHA saldırısı gerçekleştirilmiştir (Sisk, 2017).

Suriye’de iki Rus askeri üssüne (Hmeymim ve Tarsus) Ocak 2018’de eşgüdümlü sürü İHA saldırıları

düzenlemiştir. Ruslar saldırıların planlama ve icrasının karmaşıklık gerektirmesi sebebiyle arkasında ABD’nin olduğunu iddia etmiştir (Rempfer, 2018). Saldırı nihayetinde başarısız olmuş olsa da dünya genelinde çatışmalarda İHA kullanılmasının etkili bir örneğini teşkil etmektedir. Ayrıca Almanya’da düzenlenen bir açık hava mitinginde Angela Merkel’in yakınında bir İHA’nın uçurulması, güvenliğin en üst seviyede olduğu Washington’daki Beyaz Saray’a bir İHA’nın düşmesi, Sırbistan ile Arnavutluk arasında milli maç oynanırken sahanın ortasına İHA inmesi (Gambuzzi, 2019), İHA’ların yasak eşyaları cezaevlerine sokmak veya kaçakçılık amaçlı kullanılması, son teknoloji hava savunma sistemleriyle korunan kritik tesisler üzerinde İHA’ların görülmesi ve Eylül 2019 tarihinde Suudi ARAMCO petrol tesislerine yapılan sürü İHA ve füze saldırısı (Kumar, 2019) İHA’ların yarattığı güvenlik tehdidine ilişkin devlet veya devlet dışı diğer aktörlerin endişelerini gün geçtikçe daha çok artırmaktadır.

Bu çalışmada, İHA’ların kamu güvenliğine yönelik yarattığı potansiyel tehditler ile bunun karşılığında alınan ve alınabilecek tedbirler nitel bir araştırma yöntemi benimsenerek keşifsel bir araştırma ile incelenmektedir. Veri türü olarak ikincil kaynaklar kullanılmaktadır. Çalışmada bahsi geçen İHA tabirinden, İHA0 ve İHA1 sınıfındaki, insansız kullanılabilen tüm küçük hava araçları anlaşılmalıdır. İHA2 ve İHA3 sınıfındaki İHA’lar daha çok askeri maksatla kullanıldığı için bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Çalışmada karşı İHAS incelenmesi müteakip tespit-teşhis-takip sistemleri detaylı bir şekilde açıklanmaktadır. Sonrasında önleme-etkisiz hale getirme sistemleri incelenmiş ve İHA’larla ilgili beklenen gelişmelerden bahsedilmektedir.

2. KARŞI İHA SİSTEMLERİ

Karşı İHA sistemleri, İHA tespit, teşhis ve takip etme sistemleri ile etkisiz hale getirme/ele geçirme ve imha etme sistemlerinin tümünü kapsayan bir terim olarak kullanılmaktadır. İHA karşı sistemlerinin günümüzde önem kazanmaya başlamasının temel nedeni, İHA’ların hem askeri hem de sivil kişi, kurum ve tesislere karşı gittikçe artan bir tehdit haline gelmiş olmasıdır (Tiurin vd., 2019).

Karşı İHA sistemleri incelenirken; İHA’nın yapısal özellikleri boyutlarının yanında, kanat yapısına bağlı olarak hava hızı ve uçuş kontrol sistemi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada İHA’lar;

- Yapısal olarak:
 - Döner kanatlı; çoğunlukla multikopter,
 - Sabit kanatlı; maket uçak,
- Uçuş kontrolü yönüyle:
 - Radyo Frekans (RF) kontrollü,
 - Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) güdümlü otonom,
 - Tam otonom olarak ayırılmaktadır.

İHA’nın büyüklüğü ve kanat yapısı (döner kanat veya sabit kanat olması) tespit ve teşhiste önemli rol oynamaktadır. Özellikle büyük kuşlara (martı, sumru gibi) benzer boyutlara sahip sabit kanatlı İHA’lar,

kuşlarla karıştırılabilmekte, bu da İHA'nın teşhisini zorlaştırmaktadır. Diğer önemli bir konu da İHA'nın hızıdır. İHA'nın hızı arttıkça önleme sistemlerinin etkinliği azalmaktadır. Üçüncü önemli husus ise İHA'nın uçuş kontrol sistemidir. Günümüzde geliştirilen karşı İHA sistemleri genellikle RF karıştırma ve/veya GNSS karıştırma sistemleri ile çalışmakta; herhangi bir sinyal olmadan, görüntü işleme ve Atalet Seyrüsefer Sistemi¹ (Inertial Navigasyon System, INS) kullanarak çalışabilecek tam otonom İHA'lara karşı etkisiz kalmaktadır.

Karşı İHA sistemlerini temel olarak iki bölüme ayırmak mümkündür. Bunlardan birincisi tespit-teşhis-takip sistemleridir ki; bunlar adından da anlaşılacağı gibi sadece İHA'ların tespit-teşhis-takibine yarar. İkincisini ise müdahale önleme sistemi olarak tanımlamak mümkündür. Burada İHA'nın değişik yöntemlerle etkisiz hale getirilmesi söz konusudur.

3. TESPİT-TEŞHİS-TAKİP SİSTEMLERİ

3.1. Radar

Küçük hava araçlarını radar kesitlerinden tespit eden, RF yayını yapan sistemlerdir. Askeri radarlar yüksekte uçan daha büyük ve hızlı uçakları tespit etmek maksatlı optimize edildiği için İHA'ların tespitinde etkili olamamaktadır. Küçük İHA'ların büyük kısmı straför köpük, ahşap veya plastik gibi radar sinyallerini yansıtmayan veya çok az yansıtan maddelerden imal edilmekte, içinde çoğunlukla metal olarak sadece motorları ile elektrik devreleri barındırmaktadır. Bu nedenle sivil/hobi maksatlı yapılmış basit bir model uçak çok küçük radar kesit alanına sahip olmaktadır.

Bunun yanında İHA'ların çok alçak irtifalarda uçabilmesi; radarların arazi arızalarına karşı zafiyetini ortaya koymaktadır. Radarlar kuşlar gibi alçaktan uçan diğer nesnelere İHA'ları ayırt edebilmek için değişik algoritmalar kullanmakta bu algoritmaların ve veri tabanlarının oluşturulması uzun zaman almaktadır. Diğer bir husus İHA tespitinde kullanılacak radarların menzil sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. İHA tespitinde kullanılan radarlar tespit ve teşhis için yapılan optimizasyon gereği ancak birkaç kilometre uzaktan tespit yapılabilmektedirler.

3.2. Radyo Frekans (RF)

Yakınlarda uçan İHA'lar RF nedeniyle radarlar tarafından tespit edilebilmektedir. Belirli frekans aralıklarında yayın yapan ticari İHA'ları tespit etmek, yerini belirlemek ve hatta teşhis etmek konusunda işe yarasa bile, terör eylemleri için özel geliştirilmiş veya otonom uçan İHA'ları tespit konusunda yetersiz kalmaktadır. Bunun yanında özellikle şehirlerde elektro manyetik yayın kaynağının çok olduğu yerlerde hatalı alarm üretebilmektedir. Bu kaynaklara haberleşme antenleri, telsizler, telemetri sistemleri ve enerji nakil hatları örnek olarak gösterilebilir. Hatta bu sistemlerin bazılarının kendi yaydıkları elektro manyetik sinyallerde

diğer sistemlerle karışabilir, bu nedenle söz konusu sistemler özellikle meskûn mahallerde kullanılamayabilir (Kerczewski vd., 2013).

3.3. Elektro-Optik

Elektro-Optik sistemler İHA'ları görüntülerinden tespit edebilmektedirler. Bu sistemlerin en büyük dezavantajı; İHA'ları görüş hattı içinde olması gerekliliği sütre/arazi arızası gerisinden tespit edememektir ve tespit için havada çok büyük bir alanı taramak zorunda olmasıdır (Hobbs, 2008). Esasen buraya kadar bahsedilen diğer teknolojilerde de aynı görüş hattı problemi az veya çok bulunmaktadır. Ancak elektro-optik sistemlerin daha önemli zafiyeti, kilometrelerce uzağı gözetleyebilmek için kameraların dar açı ile bakmalarının gerekmesidir. Bunun neticesinde gökyüzünde çok küçük bir alanı gözetleyebilmesidir. Bu durum kimi zaman "pipetle gökyüzüne bakmak" olarak da tabir edilmektedir.

3.4. Kızıl Ötesi

Kızıl ötesi (infrared- IR), İHA'ları yaydığı ısıdan tespit etmekte ve görüntü işleme teknolojisi kullanarak 10,000-15,000 metre irtifadan görüntü elde etmektedir (Mevlütöğlü, 2009). Bu yöntemin gece görüşünde sağladığı bariz üstünlüğe rağmen elektro optik sistemde olduğu gibi dar alanları gözetlemede zorluk yaşanmaktadır. Yine aynı şekilde İHA görüş alanında değilse IR sensörler tarafından algılanamamaktadır (Byeong vd., 2018).

3.5. Akustik

Akustik, İHA'ların motor ve pervanelerinin sesinin gelişmiş ses algılayıcı sensörler vasıtasıyla dinlenmesi ve önceden kaydedilmiş seslerle karşılaştırılması mantığı ile çalışmaktadır. İHA'ların çok uzaktan tespit edilebileceği hassasiyetiyle sensörler üretilmektedir. Ancak bu durum İHA'ların yaydığı seslerin çevredeki gürültüden ayırt edilebilmesi sorununu da doğurmaktadır. Öte yandan akustik sensör; elektro-optik, IR ve radar gibi teknolojilere göre birçok potansiyel faydaya sahiptir. Örneğin, sensörler çok yönlü olduğundan, tam küresel algılama kapsamı elde edilebilir (Finn & Franklin, 2011). Akustik sensör sistemleri, birkaç mikrofona ve bir veri kayıt /işleme biriminden oluştuğu için hafiftir. Bu da veri elde etme ve işleme gereksinimleri için elektro-optik ve IR'ninkinden çok daha düşük işlemciye ihtiyaç duymasına neden olmaktadır (Salloum vd., 2015).

3.6. Birden Çok Sensör

İHA'ların tespit-teşhis-takibinde kullanılabilecek en uygun yolun, farklı teknolojilerle çalışan birkaç sensörün aynı anda kullanılması olduğu değerlendirilmektedir. Örneğin radar ile İHA'nın tespiti, bulunduğu istikamet, radara mesafesi ve kimi zaman yüksekliği tespit edilirken

¹INS, ivmeölçer ve açıölçer sensörleri kullanarak, hareket halindeki bir aracın mutlak konumunu belirlemekte kullanılmaktadır (Çetin, 2004).

teşhis için elektro-optik sistemlerin kullanılması takip için ise yine radar ve elektro-optik sistemin çalışması gerekli olabilmektedir. Bu sistemlerin dezavantajı ise maliyet olmaktadır.

Şimdiye kadar anlatılan sistemlerde; tespit, teşhis ve takip için en optimal çözüm olarak radar sistemleri ön plana çıkmaktadır. Özellikle sürü drone sistemlerinin gittikçe gelişmesi, elektro optik ve kızıl ötesi sistemlerle birden fazla hedefin takibini imkânsız hale getirmektedir. Maliyeti nedeni ile henüz tam olarak kullanılmamakla birlikte aktif faz dizinli (AESA) radarların İHA'lar için optimize edilmesi ile İHA tespitinin temel sisteminin radar teknolojileri olacağı değerlendirilmektedir (Jian vd., 2018; Stasiak, 2018).

İHA'ların tespit-teşhis ve takibinde bu kadar zorluk var iken kötü niyetli İHA'lara müdahale etmek ilave zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Özellikle yerleşim yerleri üzerindeki İHA'ların vurularak düşürülmesinin masum halka verebileceği zarar ciddi bir endişe kaynağı olarak kalmaya devam etmektedir. Bunun yanında terör maksatlı kullanılacak bir İHA'nın yük olarak kimyasal veya biyolojik madde taşıma ihtimali, güvenlik yönetiminde önemli bir güvenlik açığına neden olmaktadır. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde İHA'ları önleme/etkisiz hale getirme yöntemleri üzerinde durulacaktır.

4. ÖNLEME-ETKİSİZ HALE GETİRME SİSTEMLERİ

4.1. RF Karıştırma

RF karıştırma, İHA savar sistem üreticileri tarafından en çok üretilen ve pazarlanan teknolojidir (Sütçüoğlu & Alay, 2019). Sistem İHA ile operatör arasındaki veri bağının kesilmesi/karıştırılması mantığıyla çalışmaktadır. İHA'lar genelde operatör ile veri bağı kesilince ya yavaşça yere inmekte ya da "Eve dön" komutu kullanarak uçuşa başladıkları bölgeye yönelmektedirler. Ancak sistem otonom İHA'lara karşı etkisiz kalmaktadır.

4.2. Küresel Uydu Seyrüsefer Sistemi Karıştırma (GNSS)

GNSS, İHA'ların ve otonom İHA'ların navigasyon maksatlı kullandığı GPS/GLONASS uydularının sinyallerinin kesilmesi prensibi ile çalışmaktadır. GNSS sinyalini kaybeden İHA önceden programlanmasına göre genellikle havada kalır (hover) yavaşça yere iner veya eve döner. GNSS karıştırma ve RF karıştırma sistemleri genellikle beraber kullanılmaktadır. GNSS alıcıları: anten, alıcı saati ve işlemcilerden oluşmaktadır. Alıcılar, uydulardan yayınlanan konumlama sinyallerini almakta ve sinyallerin sağlıklı olup olmadığını değerlendirerek görüş hattındaki uyduları seçmektedirler (Bhatta, 2010).

4.3. Yanıltma Sinyali (Spoofing)

Yanıltma sinyali (spoofing) uzaktan kumanda edilen veya GNSS güdümlü otonom İHA'ların aldıkları sinyallerin taklit edilerek, İHA'nın kontrolünün ele geçirilmesi veya yanlış yere yönlendirilmesi mantığı ile çalışmaktadır. Yanıltma sinyaline örnek olarak İHA'nın

elektronik sistemlerine siber saldırısı, protokol manipülasyonu, Radyo Frekansı/GNSS aldatmaları verilebilir. RF/GNSS karıştırma yöntemlerine göre uygulanması çok daha zordur. Tam otonom İHA'larda işe yaramayacağı değerlendirilmektedir (Eldosouky vd., 2019).

4.4. Köreltme

Köreltme sisteminin çalışma prensibi İHA'ların kameralarının lazer veya başka yüksek güçlü ışın huzmesiyle görme yetisinin engellenmesine dayanmaktadır. Gözetleme maksatlı kullanılan İHA'lara karşı etkili olacağı değerlendirilmektedir. Ancak sadece kamera üzerinde etkili olması nedeniyle sistem, tek başına etkisiz hale getirmek için yeterli olmamaktadır. Bu sistem araca monte edilebildiği gibi yaya personel tarafından taşınabilmekte veya sabit tesislerin korunmasında kullanılmaktadır.

4.5. Lazer

Lazer sistemi İHA'nın önemli parçalarının veya tamamının lazer ile yakılarak düşürülmesi mantığına dayanmaktadır. Şimdiye kadar bahsedilen sistemlere nazaran daha pahalıdır. Atmosferik şartlardan kolay etkilenmektedir. Etkili olabilmesi yüksek lazer çıkış gücüne ve iyi bir odaklama ve takip sistemine ihtiyaç duymaktadır. Yapılan testlerdeki en önemli iki konunun lazerin çıkış gücü ve ışın demetinin hedef üzerinde aynı noktada uzun süre tutulabilmesi olduğu görülmektedir. İHA havada hareket halinde olduğu için, lazer sisteminin mutlaka bir hedef takip sistemine ihtiyacı bulunmaktadır.

Ayrıca sistemin etkinliği İHA'nın imal edildiği malzeme ile doğrudan orantılıdır. İHA kolay tutuşmayan dayanıklı malzemeden imal edildiği zaman yanabilmesi için ışının üzerinde tutulması gereken süre uzamakta bu da sistemin etkinliğinin azalmasına neden olmaktadır. Sistemin bir diğer zorluğu ağır olmasıdır. Bu nedenle sadece sabit sistemlerde veya zırhlı araçlar gibi platformlarda kullanılabilir. En önemli avantaj ise kurulumu tamamlandıktan sonra atış maliyetinin düşük olması ve ışık hızıyla atış yaptığı için herhangi bir balistik hesaba ihtiyaç duymamasıdır. Sistemin bir kez kurduktan sonra sadece İHA'lara karşı değil, diğer cansız hedeflere karşı da etkili olarak kullanılacağı değerlendirilmektedir.

4.6. Yüksek Güçlü Mikrodalga (HPM)

Yüksek güçlü mikrodalga (High Power MicroWave, HPM) sistemi enerjisini İHA'lara yönlendirerek, elektronik sistemlerini etkisiz hale getirmekte, böylelikle İHA'nın saf dışı bırakılması prensibiyle çalışmaktadır. HPM enerjisinin İHA'nın elektronik devresindeki yarı iletkenlerin aşırı yüklenmesi sistemin kararlılığını bozmakta, mikrodalga enerjisi yeterince yüksekse elektronik sistem yanabilmektedir.

4.7. Ağ

Ağ sisteminden yere konuşlu sistemler veya İHA üzerinden hedef İHA'ya atılan bir ağ kastedilmektedir. Temel prensip hedef İHA'nın pervanelerine ağ dolanarak düşürülmesidir. Şimdiye kadar çeşitli prototipleri imal edilmiş olsa da halen karşı İHA sistemi olarak denenmektedir.

4.8. Kinetik Enerjili Sistemler (Mühimmat)

Kinetik enerjili sistemler ile klasik veya özel tasarlanmış mühimmat ile İHA'nın düşürülmesidir. Ayrıntılı balistik hesap gerekmektedir. Yapılan denemelerde; envantere mevcut silahlardan atılan mühimmat ile küçük İHA'ları vurma ihtimalinin yüzde 0,7'den az olduğu görülmüştür (la Cour-Harbo, 2015).

4.9. Çarpışan İHA

Çarpışan İHA uygulaması, hedef İHA'ya bir başka İHA'nın çarpıtılması fikrine dayanmaktadır. Ancak henüz geliştirme aşamasındadır. Meskün mahallerde kullanımında beklenmeyen zararlar vermesi olasıdır.

4.10. ÇOKLU MÜDAHALE SİSTEMLERİ

Çoklu müdahale sistemleri yukarıda sayılan sistemlerin iki veya daha fazlasını beraber kullanılmasından oluşmaktadır. Bu karıştırma sistemlerin çoğunda hem RF karıştırma hem de GNSS karıştırma özelliği bulunmaktadır.

5. İHA'LARLA İLGİLİ BEKLENEN GELİŞMELER

Günümüzde yapılan İHA saldırıları genellikle sabit veya döner kanatlı, düşük hızlı, radyo kontrollü veya GNSS destekli otonom uçan, kısıtlı miktarda faydalı yük/patlayıcı taşıyabilen ve tekil İHA'lar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar bir hedefe birden çok İHA ile saldırı yapıldığı durumlar olsa da söz konusu İHA'lar yine de tekil hareket eden hava araçları konumundadır. Ayrıca, şimdilik tüm İHA'lar sinyal alıp verdikleri için sinyal karıştırma veya kontrolünün ele geçirilmesine karşı zayıf kalmaktadır. Bu zafiyetlere rağmen İHA'lara karşı mücadelenin kentine özgü zorlukları bulunmaktadır. Örneğin radar sistemleri meskün mahallerde veya yere çok yakın uçan İHA'ları tespit etmekte yetersiz kalmakta, kamera sistemleri tek başına kullanıldığında havada çok küçük bir alanı tarayabildiği için tespit oranı azalmakta, kuşlarla veya diğer nesnelere İHA'yı ayırmak için çok iyi tasarlanmış yapay zekâ algoritmalarına ihtiyaç duyulmakta ve sütte/bina gerisindeki İHA'yı şimdilik neredeyse hiçbir sistem tespit edememektedir. Bu zorlukların yanında İHA teknolojisinde beklenen gelişmeler mücadeleyi daha da zorlaştıracaktır. Bu gelişmeleri; İHA'larda beklenen hız artışları, tamamen otonom navigasyon yapabilecek İHA'lar ve sürü İHA'lar olarak üçe ayırmak mümkündür.

Mevcut sensörlerle İHA'yı ancak birkaç km. öteden tespit etmek mümkündür. Bu durumda 70 km/s (20 m/sn) hızla yaklaşan bir İHA'ya güvenli mesafeden

müdahale edebilmek için 30 sn'den daha az bir süre bulunmaktadır. Gelecekte İHA'ların hızlarının artması durumunda güvenli bölgeden müdahale etmek daha da zorlaşacaktır. Hali hazırda hobi maksatlı maket uçaklarda kullanılan jet motorlarının İHA'larda da saldırı amaçlı kullanılmaya başlanması ile birlikte İHA'nın tespitinden itibaren müdahale için kalan süre çok azalacaktır. Ayrıca jet motorlu İHA'lar muhtemelen daha fazla faydalı yük taşıma kapasitesine sahip olacak, bu durumda İHA'ya saldırı maksatlı daha çok patlayıcı yüklenebilecektir.

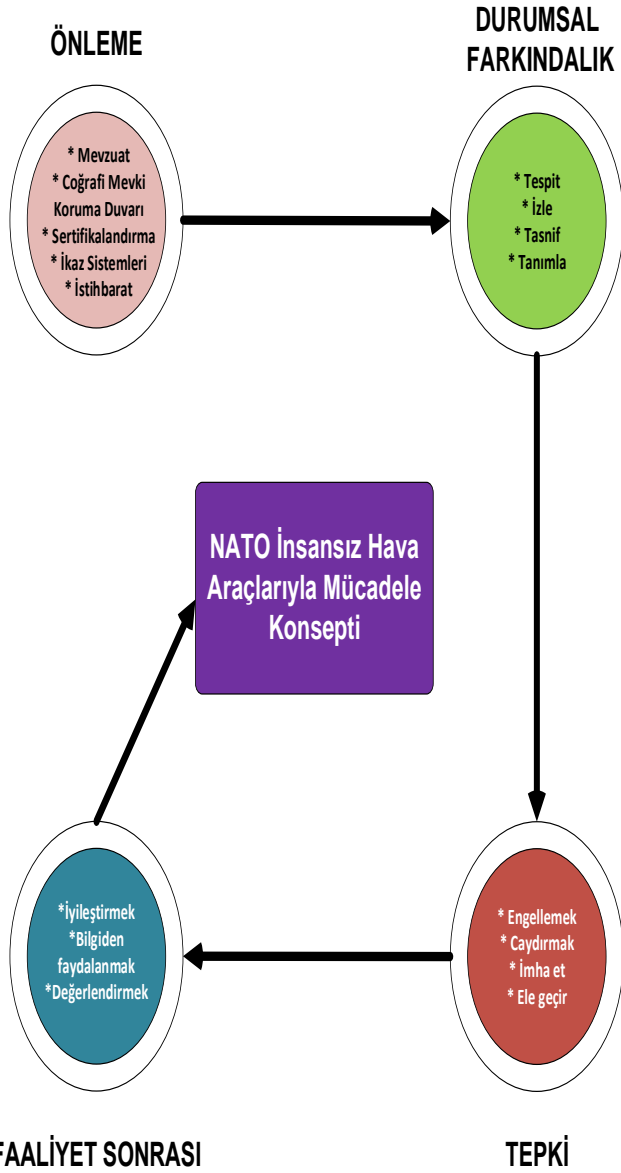
İkinci olası problem sahası; RF veya GNSS güdümlü olmadan, sadece görüntü işlemeyle veya sadece INS ile navigasyon yapabilen İHA'ların yaygınlaşacak olmasıdır. Bu durumda RF/GNSS karıştırma, ele geçirme gibi elektronik harp temelli karşı İHA sistemleri işe yaramayacaktır. Daha önceden de belirtildiği gibi İHA'ların kontrolünün ele geçirilmesi zaten çok zor bir teknolojidir. Dışarıdan hiçbir sinyal almadan uçan bir İHA hem tespit hem de etkisiz hale getirme konusunda çok zorlu bir rakip olarak ortaya çıkacaktır. Tam otonom İHA olarak tabir edebileceğimiz bu İHA'ları etkisiz hale getirmek için fiziki müdahale dışında (lazer, mühimmat, ağ, çarpışan İHA) bir seçenek görülmemektedir.

Üçüncü ve en önemli sorun ise; sürü İHA'ların yaygınlaşacak olmasıdır. Otonom olarak hedefe yönelen, yapay zekâsı sayesinde farklı saldırı taktikleri geliştirebilen, kendiliğinden hedef tespiti yapabilen onlarca İHA'nın bir araya getirilmesiyle oluşturulacak İHA sürülerini durdurmanın yolu şimdilik yok gibi görülmektedir.

Şimdiye kadar İHA'ların askeri/terör maksatlı kullanılması ve buna karşı alınabilecek tedbirler tartışılmıştır. Ancak, bu tedbirlerin çoğunluğu yeni teknolojiler olduğu için, bunların kullanılmasında hukuki boşluklar olduğu değerlendirilmektedir. Örneğin İHA'lara karşı Jammer kullanılmasının düzenlenmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi, ticari maksatlı üretilmiş İHA'ların RF kontrolü belirli frekans aralıklarındaki radyo dalgalarıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak el yapımı İHA'lar çok farklı frekans aralıklarında kullanılabilir. Bunlara karşı kullanılacak karıştırma sistemlerinin de aynı şekilde çok geniş bir bant aralığını kapatması gerekecektir. Bu durumda bölgedeki sivil haberleşme nasıl sağlanacaktır. Özellikle yerleşim yerlerine yakın Jammer kullanılması durumunda; cep telefonu, radyo ve televizyon sinyallerinin de bastırılması haberleşme özgürlüğünü engelleme olarak değerlendirilecektir. Son dönemde; kamu kurumlarının yanında bazı özel sektör kurum/kuruluşlarının da Jammerlara ilgisinin arttığı gözlemlenmektedir. Mevzuatta bir düzenleme yapılarak Jammer ve lazer sistemlerinin aynen silah gibi değerlendirilerek ruhsata bağlanması gerekmektedir.

İHA'ların şehir içlerinde özellikle kargo taşımacılığı/kurye hizmetlerinde kullanımının artmasıyla birlikte; şehir içlerinde İHA hava trafik yoğunluğu oluşacağı öngörülebilir. Bu durumda şehirlerin hava sahasının da aynen hava alanlarında olduğu gibi gözetilmesi ve kontrol edilmesi gerekir. Küresel bir güvenlik problemi olan İHA'lara karşı önleyici tedbir almak için bütünüyle bir yaklaşımla NATO (2020)'nin geliştirdiği önleme, durumsal

farkındalık, tepki ve faaliyet sonrası aşamalarından oluşan Şekil 1'deki İHA'larla mücadele konsepti güvenlik güçlerinin bu konuyla ilgili uluslararası bakış açısını ortaya koyması açısından önemli bir yer tutmaktadır.



Şekil 1. NATO İHA'larla mücadele konsepti (NATO,2020).

6. SONUÇLAR

Önümüzdeki birkaç yılda İHA'larda meydana gelecek gelişmeler bir bütün olarak ele alındığında; İHA kullanımının, günlük yaşamda sağladığı kolaylıklar nedeniyle kullanımın yaygınlaşacağı ve İHA'ların hayatın ayrılmaz bir parçası haline geleceği düşünülebilir. Otomobillerin 19'ncü yüzyılın ikinci yarısından itibaren hayatımıza girmeye başlayıp, bugün karayolu taşımacılığı ve araçlarda ayrıntılı güvenlik düzenlemeleri olduğu gibi, İHA'larda da ayrıntılı güvenlik düzenlemeleri yapılması gerekmektedir.

Özellikle İHA'ların kötü amaçlarla kullanımına karşı tedbirler geliştirilmesi gerekmektedir, fakat bu çalışmalar yapılırken İHA'ların günlük yaşamda sağladığı faydalar göz ardı edilmemelidir. Bu çerçevede, İHA'lar ve kullanıcıları kayıtlanmalı, güvenlik aktörleri arasında

tecrübe değişimi yapılmalı, kullanım standartları belirlenmeli ve test edilmeli, bununla ilintili olarak test metodolojisi ve senaryoları hazırlanmalı, kamu ve özel sektör arasında iş birliği yapılmalı ve gümrük düzenleri getirilmesi hususları üzerinde hassasiyetle durulmalıdır. Ayrıca tüm İHA operatörlerinin kayıtlanmasına ilave olarak İHA'ların uçuş esnasında elektronik olarak kimlikleri ile kayıtlanabilecekleri bir sistemin geliştirilmesi gerekmektedir. İHA'lar için sınırlandırılmış alanlar tanımlanmalı ve bu alanlara İHA'ların girişlerinin engellenmelidir.

Bu kapsamda veri akışı sağlanabilmesi maksadıyla yerel güvenlik güçleriyle birlikte ulusal ve uluslararası hava sahası koordinatör birimleriyle bilgi akışı sağlayabilecek İHA'ları tespit, teşhis, izleme ve etkisiz hale getirebilecek hava savunma sistemi kurulması en öncelikli çalışma olmalıdır.

Bununla birlikte tespit etmeye yönelik çalışmalar yapılırken tanımlama ve sınıflandırma yapılmalıdır. Ayrıca angajman durumları belirlenmeli ve angajmanı sağlayacak sistemler geliştirilmelidir. Öte yandan güvenlik yönetiminin en önemli aktörlerinden birisi olan sivil halk, İHA kullanımı hakkında bilgilendirilmeli, böylelikle yanlış alarmların önüne geçilmeli ve paniği engelleyecek tedbirler alınmalıdır.

KAYNAKÇA

Balkan S (2019). DEAŞ'in İHA Stratejisi: Teknoloji ve Yenilikçi Terörizmin Yükselişi. İstanbul: SETA Yayınları.

Bhatta B (2010). Global Navigation Satellite Systems: Insights into GPS, Glonass, Galileo, Compass, and Others. Hyderabad: B.S. Publications.

Byeong K, Khan D, Bohak C, Choi W, Lee H & Kim M (2018). V-RBNN based small drone detection in augmented datasets for 3D LADAR system. *Sensors*, 18, 3825, 1-16.

Çetin Y Ş (2004). Ülkemizin uydu hava seyrüsefer haberleşme sistemlerine olan ihtiyacın teknik ve ekonomik boyutunun analizi, Bilgi Teknolojileri ve Telekomünikasyon Kurulu Uzmanlık Tezi. <https://www.btk.gov.tr/uploads/thesis/ulkemizin-uydu-hava-seyrusefer-haberlesme-sistemlerine-olan-ihityacin-teknik-ve-ekonomik-boyutunun-analizi.PDF> Erişim tarihi: 30.07.2020.

Eldosouky A, Ferdowsi A & Saad W (2020). Drones in Distress: A Game-Theoretic Countermeasure for Protecting UAVs Against GPS Spoofing. *IEEE Internet of Things Journal*, 1, 1-16.

Finn A & Franklin S (2011). Acoustic sense & avoid for UAV's. In proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), Adelaide, Australia, 6-9 December.

Gambuzzi A (2019). Top 5 Drones Incidents. European Army Interoperability Centre.

- <https://finabel.org/top-5-drones-incidents/> Erişim tarihi: 30.08.2020.
- Hassanalıan M & Abdelkefi A (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 99-131.
- Hobbs P (2008). *Building Electro-Optical Systems: Making it all Work*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Jian M, Lu Z & Chen V C (2018). Drone detection and tracking based on phase-interferometric Doppler radar. 2018 IEEE Radar Conf, 1146-1149.
- Kerczewski R, Wilson J & Bishop W (2013). Frequency spectrum for integration of unmanned aircraft. 6D5-1. 10.1109/DASC.2013.6712625. Erişim tarihi: 7.08.2020.
- Kumar N (2019). Saudi Arabia Drone Attack: Sign of Changing Character of Hybrid War. <https://www.vifindia.org/article/2019/october/01/saudi-arabia-drone-attack-sign-of-changing-character-of-hybrid-war>, Erişim tarihi: 1.08.2020.
- La Cour-Harbo A (2015). Mass threshold for 'harmless' drones. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 9, 1-14.
- Mevlütöğlü A (2009). İnsansız Hava Araçları ve Ağ Merkezli Muharebe Kavramı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası V. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı, Eskişehir.
- NATO (2020). *NATO Countering Class 1 Unmanned Aerial Systems (C-UAS) Handbook*. Bruksel: NATO Publications.
- Rempfer K (2018). Did US drones swarm a Russian base? Probably not, but that capability isn't far off. <https://www.militarytimes.com/news/2018/10/29/did-us-drones-swarm-a-russian-base-probably-not-but-that-capability-isnt-far-off/> Erişim tarihi: 5.08.2020.
- Salloum H, Sedunov A., Sedunov N, Sutin A & Masters, D (2015). Acoustic system for low flying aircraft detection. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, Waltham, MA, USA.
- Sisk R (2017). US 'Jammer' Curbs ISIS Drone Threat in Mosul Battle. *DefenseTech*. <https://www.defensetech.org/2017/03/08/jammer-curbs-isis-drone-threat-mosul>. Erişim tarihi: 3.08.2020.
- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (2020). İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı (SHT-İHA), http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/2020/IHA_talimat_revizyon3.pdf. Erişim tarihi 12.07.2020.
- Stasiak K, Ciesielski M, Kurowska A & Przybysz W (2018). A study on using different kinds of continuous-wave radars operating in C-Band for drone detection. *22nd Int. Microwave Radar Conf. (MIKON)*, 521-526.
- Sütçüoğlu Ö & Alay M. (2019). *Anti-Drone Savunma Sistemleri*. Ankara: STM Teknoloji Düşünce Merkezi.
- Tiurin V, Mirnenko V, Openko P (2019). General approach to counter unmanned aerial vehicles. *Safety & Defense*, 5, 6-12.
- Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlüğü (2020). İnsansız Hava Aracı, <https://sozluk.gov.tr/> Erişim tarihi 02.07.2020.



© Author(s) 2020.

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



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

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

e-ISSN 2687-6094



Yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti

Adem Kabadayı*¹, Murat UYSAL²

¹ Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefaati Meslek Yüksekokulu, Yozgat, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İHA
Bina Tespiti
Fotogrametri
Nesne Tabanlı sınıflandırma

ÖZ

Bu çalışmada İnsansız hava aracı (İHA) verilerinden üretilen Ortofoto, Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) verilerin otomatik bina çıkarımı için bir yaklaşım ortaya konmuştur. Yaklaşım, İsviçre'nin Yverdon-les-Bains kentindeki Technology Park alanda test edilmiştir. Görüntülerden otomatik eşleme tekniği ile SYM ve ortofoto üretilmiştir. Oluşturulan ortofotonun nesne-tabanlı yöntemle bölütlemesi ve sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırmada işleminde çeşitli morfolojik işlemler uygulanarak binaların tespiti yapılmıştır. Mevcut binalar sayılarak tespit edilen binalar karşılaştırılmış ve %89 başarı oranı tespit edilmiştir.

Building detection from high resolution UAV data

Keywords

UAV
Remote Sensing
Photogrammetry
Object-Based Classification

ABSTRACT

In this study, an approach for automatic building extraction of Orthophoto, Digital Surface Model (DEM) and Digital Terrain Model (SAM) data generated from unmanned aerial vehicle (UAV) data is presented. The approach has been tested at the Technology Park site in Yverdon-les-Bains, Switzerland. DEM and orthophoto were generated from the images using automatic matching technique. The buildings were determined by segmentation and classification of the orthophoto created by object-oriented method. The buildings were identified by applying various morphological processes in the classification process. The buildings identified by counting the existing buildings were compared and 89% success rate was determined.

1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışı, köyden kente göçlerin yaşanması, yaşam standartlarının iyileşmesi vb. sebeplerden dolayı şehirlerdeki bina sayılarında hızlı bir şekilde artış görülmektedir. Bu artışlar sonucunda haritaların sıklıkla revize edilmesi gerekmektedir. Kadastro işlemleri klasik yöntemlerle uzun ve maliyetli olmaktadır. Teknolojinin gelişimi ile birlikte kullanılmaya başlanan dijital görüntülerden elde edilen sonuç ürünler klasik veri toplama yöntemlerine göre hızlı, kolay, hassas ve daha ekonomiktir. Dijital veri toplama yönteminin birçok avantajı olmasına karşın dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlar; toplanan verilerin yüksek boyutlu olması, her verinin istenen kalitede olmaması, veri kümelerinin yoğunluğu, yoğun verilerin ayıklanmasının gerekliliği ve bu işlemler için yüksek donanımına sahip bilgisayar sistemlerine ihtiyaç duyulmasıdır. Gerekli bilgisayar ve teknolojik imkânlarla sahip olduktan sonra veri toplama ve harita üretimi, üreticiye birçok açıdan kolaylık sağlayacağı aşikârdır. Üretilen sayısal ortamdaki haritalar üzerinde yapılacak düzenlemeler ve çalışmalar için görüntü işleme tekniklerinin kullanılması önem arz etmektedir. Böylece veri boyutları istenen düzeye indirgenecek ve veri işleme adımı kısa sürede ve daha ucuza mal edilebilecektir. Teknolojinin getirdiği yeniliklerin ve kolaylıkların, zaman ve maliyet açısından harita üreticisine; doğru ve güvenilir bilgiler açısından da kullanıcılara büyük katkısı olmuştur.

Fotogrametri, arazi, bitki örtüsü ve arazi örtüsü kentsel özellikler gibi insan yapımı ve doğal nesnelere hakkındaki bilgileri donatmak için uygun bir araçtır. Fotogrametri ve dijital görüntü tabanlı işleme teknikleri, görselleştirme teknolojisini pratik hale getirmek ve geleneksel ve jeodezik araştırmalara kıyasla düşük maliyetli iş akışı sağlamak için önemli bir role sahiptir (Yakar vd., 2018; Yiğit vd., 2020). Fotogrametrik süreç, geleneksel arazi ölçme yöntemlerine göre çeşitli faydalar sunmaktadır. Herhangi bir proje verisinin gerektirdiği hassasiyeti sağlaması, daha kısa sürede veri üretilmesi, üretilen verilerin uzun süre kullanılabilir ve çok daha düşük maliyetlerde üretilebilmektedir. Ayrıca üretilen dijital görüntülerden daha yüksek çözünürlüklü veriler; SYM, SAM ve ortofoto üretilebilmektedir.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte İHA'lar fotogrametrik veri üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kaya vd., 2019; Ulukavak vd., 2019; Ulvi vd., 2019; Ulvi & Yiğit, 2019). Tarihi yapıların modellenmesinde, kubaj hesaplamalarında, 3 boyutlu model yapımı ve küçük alanların haritalandırılmasında zaman ve maliyet açısından önem arz etmektedir (Yakar et al., 2016; Ulvi vd., 2020; Erdoğan & Mutluoğlu, 2020).

İHA ile elde edilen SAM ve ortofoto görüntülerden yararlanarak nesne tabanlı yaklaşımla bina çıkarımı çalışmaları hız kazanmıştır. Nesne tabanlı yaklaşımda görüntü objelerinin sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde

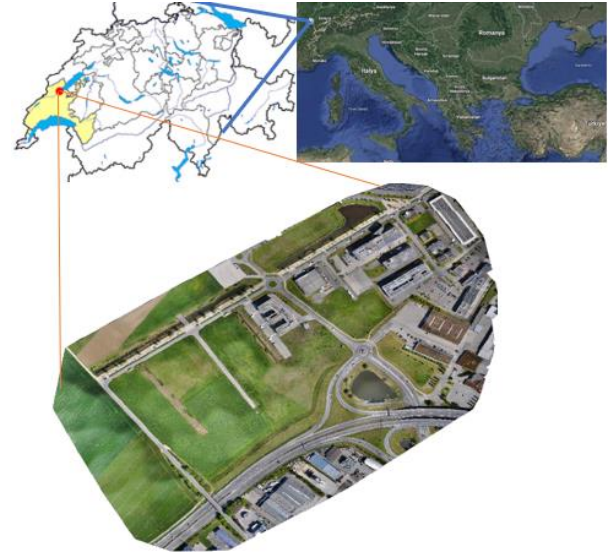
geleneksel sınıflandırıcı olarak bilinen en yakın komşuluk algoritması yoğun bir kullanıma sahiptir. Literatürde parametrik sınıflandırıcıların yüksek çözünürlüklü görüntülerde olduğu gibi karmaşık yapıdaki veri setlerinin sınıflandırılmasında yetersiz kaldığı ifade edilmektedir (Kavzoglu & Reis, 2008). Piksel tabanlı sınıflandırmada birçok çalışmada başarısı ifade edilen sınıflandırma algoritmalarının, nesne tabanlı sınıflandırmada önemli bir araştırma konusunun haline gelmiştir (Qian vd., 2015).

Bu çalışmada, İHA ile 235 adet fotoğraf çekilerek fotogrametrik yöntemler ile değerlendirmesi yapılmıştır ve ortofoto SYM üretilmiştir. Üretilen veriler nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile değerlendirilerek binaların tespiti yapılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak İsviçre'nin Yverdon-les-Bains kentindeki Technology Park alanına ait veri kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Bölgesi

2.2. Kullanılan Veri ve Özellikleri

Bu çalışma eBee Plus sabit kanatlı İHA kullanılmıştır (Şekil 2). 106m yükseklikten 235 adet fotoğraf çekilmiştir. Resim çekimleri Sensefly SODA kamera ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Kamera özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Elde Edilen görüntünün boyutu 5472x3648 pikseldir. Bir pikselin arazide kapladığı alanı ifade eden konumsal çözünürlük ise 0.026 metre / piksel olup tüm görüntülerin yerde kapladığı toplam alan yaklaşık olarak 45.9 hektardır.



Şekil 2. eBee Plus İHA (URL 1)



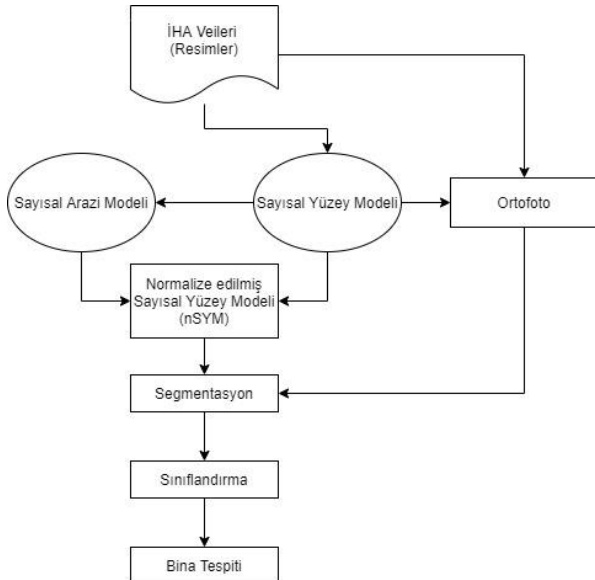
Şekil 3. SODA Kamera (URL 2)

Tablo 1. Sensefly SODA kamera özellikler

Özellik	Değer
Sensor	1"
RGB lens	F/10,6 mm
RGB çözünürlüğü	5.472 x 3.648 piksel (3: 2)
ISO aralığı	125-6400
RTK / PPK desteği	Evet

3. YÖNTEM

Temel işlem adımları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. İş akışı

Fotogrametrik değerlendirmede araziye tesis edilen 9 adet yer kontrol noktası(YKN) ile yapılmıştır. İHA ile elde edilen görüntüler ve YKN'ler fotogrametrik dengelemede kullanılarak oluşan model arazi koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Tablo 1'de YKN'lerin hata değerleri ve ortalama

hataları, Tablo 2'de YKN'lerin konum hataları gösterilmiştir. Fotogrametrik ürün olarak Sayısal yüzey modeli (SYM), ortofoto ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) üretilmiştir. Üretilen ortofotonun yer örneklem aralığı (GSD) 2.64 cm/piksel'dir.

Tablo2. YKN'lere ilişkin Pix4D Yazılımından elde edilen X,Y,Z Koordinatlarının Hata Değerleri

N.N	Vi Farklar (cm)			Vi Vi Farklar cm ²		
	Vx	Vy	Vz	VxVx	VyVy	VzVz
1	-1,2	-0,8	-2,2	1,4	0,6	4,8
2	-0,2	3,0	-3,5	0,0	9,0	12,3
3	-1,9	0,4	-0,5	3,6	0,2	0,3
4	-0,9	-3,7	-5,6	0,8	13,7	31,4
5	2,2	-2,2	0,5	4,8	4,8	0,3
6	1,0	-4,5	1,0	1,0	20,3	1,0
7	0,6	-4,3	-7,3	0,4	18,5	53,3
8	-0,8	-1,8	0,5	0,6	3,2	0,3
9	1,6	2,7	-5,7	2,6	7,3	32,5

Tablo 3. Pix4D yazılımından elde edilen YKN koordinatlarının konum hatası (cm)

	Vx (cm)	Vy (cm)	Vz (cm)
Vort	0,04	-1,24	-2,53
RMS	0,21	2,94	3,89
mxyz	4,90		

Daha sonra üretilen ürünler eCognition yazılımında nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak bina çıkarımı yapılmıştır. SYM ve SAM ile normalize edilmiş Sayısal Yükseklik Modeli (nSYM) elde edilmiştir. Üretilen görüntüler segmentasyon yapılmıştır. Görüntü sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırılmış görüntü üzerinde morfolojik işlemler uygulanarak binalar tespit edilmiş ve analizi yapılmıştır.

3.1. Ortofoto Oluşturma

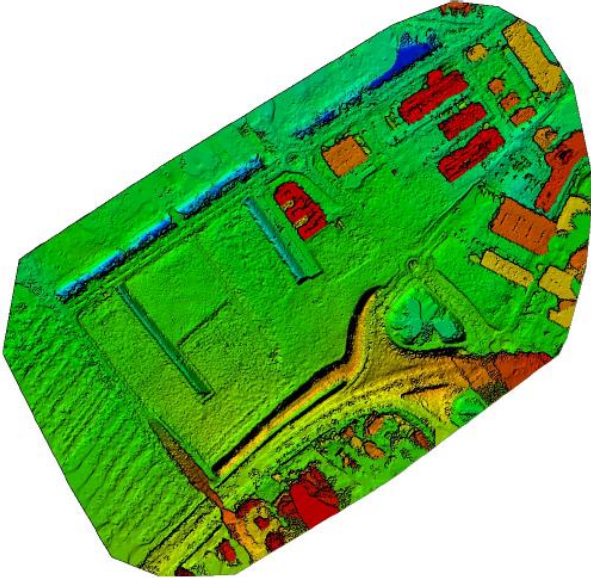
Pix4D yazılımında, İHA yardımıyla 106m yükseklikten elde edilen 235 adet fotoğraf, görüntü eşlemesi yapılarak ışın demetleriyle blok dengelemesi sonucu SAM üretilmiştir. Daha sonra piksel boyutu 0.026 m x 0.026 m olan ortofoto (Şekil 5) oluşturulmuştur. Ortofotonun yer örnekleme aralığı 2.64 cm/piksel'dir. Üretilen veride karesel ortalama hatalar RMSEX: 1.29 cm, RMSEY: 2.94 cm, RMSEZ: 3.88 cm olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Ortofoto Görüntüsü

3.2. Sayısal Yüzey Modeli Oluşturma

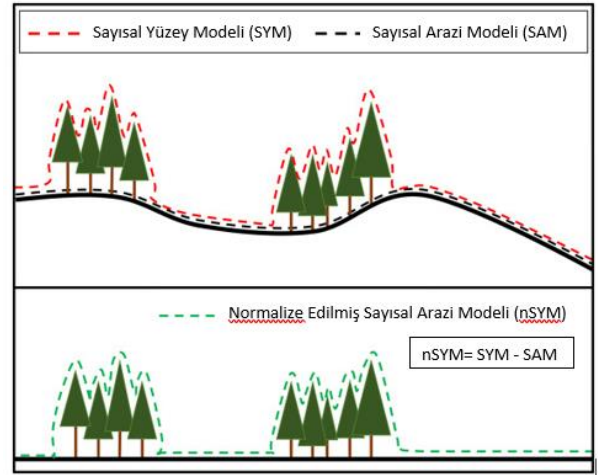
Sayısal yükseklik modeli (SYM), yapay (elektrik hattı, binalar, kuleler vs.) ve doğal (ağaçlar ve diğer bitki örtüsü türleri) unsurları kapsamayan, çıplak dünyayı temsil eden raster gridlerden oluşan modeldir. Çalışmada üretilen SYM görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir. Üretilen SYM'nin dikey doğruluğu 3.88cm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. SYM görünümü

3.3. Normalize Edilmiş Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma

Normalize edilmiş sayısal yüzey modelinde (nSYM), üretilen SYM ve SAM farkından elde edilmektedir. Matematiksel olarak $nSYM = SYM - SAM$ olarak gösterilir. Yani nSYM verisinde çıplak arazi yüzeyi haricindeki bitki ve insan yapımı objeleri içeren yükseklik verisi bulunmaktadır (Wilson & Gallant, 2000; Hashemi, 2008; Yiğit & Uysal, 2019) (Şekil 7).



Şekil 7. Normalize edilmiş Sayısal Yüzey Modeli

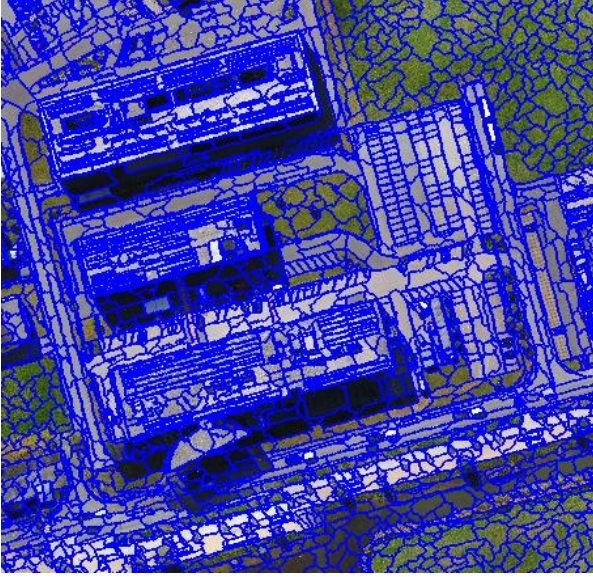
3.4. Segmentasyon

Nesne tabanlı sınıflandırmanın ilk adımı olarak karşımıza segmentasyon çıkmaktadır. Segmentasyon, nesnelere gibi varlıkları daha küçük anlamlı bölümlere ayırmak anlamına gelmektedir. Çalışmada kullanılan eCognition yazılımı içerisinde kullanıcılara sunulan farklı segmentasyon algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalar iki ana prensibe göre segmentasyon işlemlerini gerçekleştirmektedirler. Ortaya çıkarılacak nesnelere çok ölçekli sonuçları göz önüne alındığında küçük nesnelere, anlamsal bir hiyerarşi oluşturan daha büyük nesnelere yapılandırma için birleştirilebilir. Aynı şekilde büyük bir nesne, nesne analizinin iki ana yaklaşımına yönelik küçük nesnelere bölünebilir (Şekil 8). Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde eCognition yazılımının sunduğu küçük nesnelere benzer spektral ve mekânsal özelliklerine göre daha büyük anlamlı nesnelere üretmek için çok çözünürlüklü segmentasyon (multi resolution segmentation) kullanılmıştır. Nesnelere homojen hale getirmek için piksellerin komşuluk ilişkilerinden faydalanılarak benzer spektral ve mekânsal özellikler değerlendirilmede ölçüt olarak alınır (Trimble, 2014; Yiğit & Uysal, 2020).

Segmentasyon işleminde ölçek, şekil ve yoğunluk parametrelerine dikkat edilmektedir. Bu parametrelerden en önemlisi ölçek parametresidir. Ölçek parametresi deneme yanılma yöntemi ile bulunur. Sınıflandırılmak istenilen veriyi en iyi temsil eden ölçek değeri seçilmelidir. Yani bina, yol, ağaç, araç vs. verilerin sınıflandırılmasında farklı ölçek parametreleri tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada üretilen sonuçlar yorumlanarak binaların sınıflandırılmasında en uygun olan 200 ölçek değeri belirlenmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde şekil ve ölçek parametresi için 0.2 ve 0.5 olarak kullanılmasının daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür (Suarez, 2003; Shiba vd., 2006). Çalışmada kullanılan parametre değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Segmentasyon Parametresi

Parametre	Değer
Ölçek	200
Şekil	0.2
Yoğunluk	0.5

**Şekil 8.** Segmentasyon görünümü

3.5. Sınıflandırma

Çalışma kapsamında üretilen görüntü nesnelere sınıflandırılması için eCognition yazılımında nesne tabanlı kurallar tanımlanarak sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işleminde ortofoto görüntüsünün spektral bantlarından (Tablo 3), SAM ve SYM verilerinin türevlerinden, geometrik ve şekilsel özelliklerden faydalanılmıştır. Sınıflandırma bina ve bina dışı objeler olarak iki sınıfa ayrılmıştır (Şekil 9).

Tablo 3. Sınıflandırmada kullanılan parametreler

$GRI = (Green / (Red + Green + Blue)) \times 100$
$RRI = (Red / (Red + Green + Blue)) \times 100$
$GRVI = ((Green - Red) / (Green + Red))$
$nSYM = SYM - SAM$
$GLI = ((2 * Green) - Blue - Red) / ((2 * Green) + Blue + Red)$
$RRI = Red / (Blue + Green + Red)$

**Şekil 9.** Sınıflandırılmış görüntü

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kentleşmenin az olduğu İsviçre Technology Park test verisi olarak seçilmiştir. İHA ile elde edilen veriler kullanılarak bina çıkarımı irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda İHA ile 106m yükseklikten çekilen 235 adet görüntü ve 9 adet YKN ile Pix4D yazılımında değerlendirilerek SYM, SAM ve ortofoto verileri üretilmiştir. Ortofotonun yer örnekleme aralığı 2.64 cm/piksel'dir. Üretilen veride karesel ortalama hatalar RMSEX: 1.29 cm, RMSEY: 2.94 cm, RMSEZ: 3.88 cm olarak bulunmuştur.

Nesne tabanlı yaklaşımda görüntü objeleri için tanımlanacak yüzlerce özellikten oluşan veri setinin sınıflandırılmasında büyük bir başarı sağladığı görülmektedir. Sınıflandırma işleminde SYM ve SAM verileri detay tespitinde kolaylık sağladığı görülmüştür. Aynı zamanda binaların geometrik yapısının düzgün olması, ağaç ile binaların yapışık olamaması tespitinde olumlu etki sağladığı gözlemlenmiştir. SYM ve SAM verilerinin doğruluğu binaların tespitini direkt etkilemektedir.

Çalışma alanı olarak seçilen yerleşim alanında 19 adet bina bulunmaktadır. 17 adet bina başarılı bir şekilde tespit edilerek başarı oranı %89 olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

Erdoğan A & Mutluoğlu Ö (2020). İnsansız Hava Araçları ile Harita Üretim Çalışmalarında Farklı Yüksekliklerde Yapılan Uçuşların Konum Doğruluğuna Etkisi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2 (1), 28-35.

Hashemi S A M (2008). Automatic peaks extraction from Normalized Digital Surface Model (NDSM). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B3a.

Kavzoglu T & Reis S (2008). Performance analysis of maximum likelihood and artificial neural network classifiers for training sets with mixed pixels. *GIScience & Remote Sensing*, 45 (3), 330-342.

- 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.
- Shiba M & Itaya A (2006). Using eCognition for improved forest management and monitoring systems in precision forestry, Proceedings International Precision Forestry Symposium, Stellenbosch University, South Africa.
- Suarez J C (2003). Tree counting analysis using eCognition.
- Trimble (2014). eCognition Developer Reference Book.
- Ulukavak M, Memduhoğlu A, Şenol H İ & Polat N (2019). The use of UAV and photogrammetry in digital documentation. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 17-22.
- 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 Kilisenin 3B Modelinin ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5 (1), 19-26.
- Ulvi A & Yiğit A Y (2019). Kültürel mirasın dijital dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 1-6.
- Qian Y G, W Q Zhou, J L Yan, Li W F & L J Han (2015). Comparing Machine Learning Classifiers for Object-Based Land Cover Classification Using Very High Resolution Imagery. *Remote Sensing*, 7 (1), 153-68.
- Wilson J P & Gallant J C (2000). Terrain analysis: principles and applications, John Wiley and Sons, Inc.: New York.
- Yakar M, Kabadayı A, Yiğit A Y, Çıkıkcı K, Kaya Y & Catin S S (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1 (1), 14-18.
- Yakar M, Ulvi A, Varol F, Yiğit A Y Kaya Y, Kabadayı A, & Catin S S (2018). 3D Model Production by Using UAV and Terrestrial Photogrammetric Techniques: The Example Of Erzurum Three Kumbets. III. ICCHT sempozyumu, Bişkek, Kırgızistan.
- Yiğit A Y & Uysal M (2019). Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı Kullanılarak Yolların Tespiti. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1) 17-24.
- Yiğit A Y & Uysal M (2020). Automatic Road Detection From Orthophoto Images. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1), 10-17.
- Yiğit A Y, Kaya Y & Kabadayı A (2020). Comparison of Documenting Cultural Artifacts with the 3D Model in Different Software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- URL 1: <https://www.sensefly.com/drone/ebee-plus-survey-drone/>
- URL 2: <https://www.sensefly.com/camera/sensefly-soda-photogrammetry-camera/>



© Author(s) 2020.

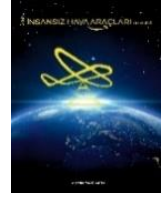
This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

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

e-ISSN 2687-6094



Donanmaların Etkinliğinin Artırılmasında İnsansız Hava Araçlarının Rolü

Celil Anıl KORKMAZ*¹ 

¹Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Deniz Hava Komutanlığı Çanakkale, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İnsansız Hava Aracı
İHA
Donanma
Etkinlik

ÖZ

İnsansız hava araçları (İHA), birçok alanda etkinliğinin kısa sürede fark edilmesinin ardından, askeri görevlerin icrasında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ülkelerin deniz hak ve menfaatlerinin korunması için daima hazır olan donanmaların da gelişen teknoloji sonucunda İHA'lara olan ihtiyacı ortaya çıkmış ve bu kapasitenin kazanılması bir zorunluluk olmuştur. Donanmalar İHA'lara sahip olmaya başlayınca özellikle istihbarat, gözetleme, keşif, deniz güvenliği gibi temel görevlere ilaveten denizde insan kaçakçılığı, denizde arama kurtarma, muhabere gibi diğer görevlerin icrasında da esneklik ve etkinlik kazanmıştır. İHA'lara yönelik Türkçe literatürün gelişimine katkı sağlamak amacıyla bu çalışmanın yapılması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın amacı, İHA'ların donanmalar için icra ettikleri görevleri belirtmek ve bu görevlerin icrasının donanmalar için önemini açıklamaktır. Çalışmada İHA'ların donanmalar tarafından icra edilen görevler için vazgeçilmez bir unsur olduğu ve gelecekte de olmaya devam edeceği görülmüştür. Çalışmanın İHA'lar ile ilgili literatüre katkı yapacağı düşünülmektedir.

The Role of Unmanned Aerial Vehicles in Increasing the Effectiveness of the Navy

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle
UAV
Navy
Efficiency

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have begun to be used intensively in the performance of military duties after their effectiveness in many fields have been noticed in a short time. As a result of the developing technology, the need for UAVs has emerged for the navies, which are always ready to protect maritime rights and interests of the countries, and it has become a necessity to gain this capacity. When the navies began to acquire UAVs, they gained flexibility and efficiency in performing other tasks such as migrant smuggling at sea, search and rescue at sea, communication in addition to main tasks such as intelligence, surveillance, reconnaissance and maritime security. It's aimed to carry out this study in order to development of the Turkish literature on the UAVs. The purpose of this study is to indicate the duties performed by UAVs for navies and to explain the importance of performing these duties for navies. In the study, it has been seen that UAVs are an indispensable element for the tasks performed by navies and will continue to be in the future. The study is thought to contribute to the literature on UAVs.

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

(sealegolas@hotmail.com) ORCID ID 0000-0002-4393-9654

Cite this article (APA);

Korkmaz C A (2020). Donanmaların Etkinliğinin Artırılmasında İnsansız Hava Araçlarının Rolü. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2(2), 49-54

1. GİRİŞ

Deniz, toplumların çağlar süren gelişim süreci içinde refah, savunma ve güvenlik alanlarında vazgeçilmez önemde ve öncelikte rol oynamış, güç mücadelesinde en önemli çıkar çatışma alanı olarak dünya tarihini şekillendirmiştir (Gürdeniz, 2015).

Donanmalar, dünyanın yaklaşık dörtte üçünü kaplayan denizi kullanarak, kara ve hava kuvvetlerinin yapamadığı şeyleri yapabilecek kabiliyetlere erişmiştir.

Donanmaların diplomatik görevlerinin dışında kara ülkesine yönelik risk ve tehditlere karşılık veren, ikili/çok uluslu iş birliği faaliyetlerini destekleyen, bölgesel/küresel istikrarın sürdürülmesi için gayret sarf eden, kriz yönetiminde aktif rol alan, deniz hak ve menfaatlerini koruyan caydırıcı, çok cepheli görev icra kabiliyetine sahip bir güç olduğu inkâr edilemez bir gerçektir.

Görevlerin başarı ile yerine getirilmesi için harekâtı sevk ve idare eden komutan tarafından durumsal farkındalığa sahip olmak bir zorunluluk olmuştur. Çünkü durumsal farkındalığa sahip olunamadıkça harekât sahasında ortaya çıkan olaylara karşı da bilgi sahibi olunması mümkün olunamayacaktır.

Geniş çaplı yüzer ve dalar unsurlar ile insanlı hava araçları vasıtasıyla teşkil edilen donanmalar için harekâtın icra edileceği alan ile ilgili önceden bilgi sahibi olmak harekâtın başarısı için gerek olan en temel bilgiyi oluşturmaktadır. Ancak, bu şekilde teşkil edilmiş donanmalar için bu bilgiye sahip olmak hem maliyet etkin bir hal tarzı olmayacak hem de savaş durumunda elindeki unsurların kolay bir şekilde düşman tarafından hedef olmasına sebebiyet verecektir.

Özellikle 21.yüzyılın ilk çeyreğinde ortaya çıkan teknolojik yenilikler yaşamımızın vazgeçilmez bir parçası olarak bireyler ve devletler için çok önemli olmaya başlamıştır. Donanmalar da çok amaçlı/fonksiyonlu bir yapı olarak kendilerine verilen görevleri etkin bir şekilde yapabilmek için teknolojinin sahip olduğu bu olanaklardan yararlanmış ve ihtiyaçları doğrultusunda gelişimine katkıda bulunmuştur. Teknolojinin süreklilik arz ettiği bu gelişim sürecinde akıllı/otonom araçlar konusundaki yapılan çalışmalar ve ortaya çıkan ürünler sonucunda donanmalar da bu akıllı/otonom ürünlere karşı kayıtsız kalmayarak bunlardan aktif bir şekilde yararlanmaya başlamıştır.

İçerisinde pilot olmayan, uzaktan kontrol ile yerden bir pilot tarafından sevk ve idare edilen ya da otonom olarak üzerinde görevin özelliğine göre çeşitli cihazlar ile uçan İHA'lar (Suraj vd., 2013) hareket sahalarında gerçekleştirmiş olduğu görevler ile etkin bir rol oynamış, muazzam bir potansiyele sahip, gelişmekte olan bir teknoloji olarak da donanmaların görevlerinin icrasında vazgeçilmez olmuştur.

İHA'lar, donanmaların maliyetleri unsurlarına nazaran uygun maliyetli olmaları ve denizde durumsal farkındalığın sağlanmasına yönelik olarak da düşük risk oluşturması sebebiyle günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle İHA'lar ile birlikte istihbarat, gözetleme, keşif, deniz güvenliği gibi temel görevlere ilaveten denizde insan kaçakçılığı, denizde arama kurtarma, muhabere, tehlikeli madde tespiti gibi diğer görevlerin icrasına yönelik önemli bir yetenek kazanılmıştır. İHA'lar; muhtemel hasım denizaltının

tespiti, teşhisi ve takibi için sonobuoy atmak ve sonobuoylardan gelen akustik bilgileri işlemek, diğer unsurlar için muhabere rölesi görevi görerek muhabere zafiyeti yaşanılmasının önüne geçmek, kıyı hedeflerinin imha edilmesi gibi görevleri ile de donanmalar için değerli bir unsur olmaktadır (Austin, 2010).

Bu kapsamda çalışmanın amacı İHA'ların donanmalar tarafından hangi görevlerin icrasında kullanıldığını belirtmek ve bu görevlerin icrasının donanmalar için önemini açıklamaktır. Çalışmada İHA'ların donanmalar tarafından icra edilen özellikle denizde durumsal farkındalığın sağlanması görevi için vazgeçilmez bir unsur olduğu ve kazanılacak ilave yetenekler sayesinde farklı görevler için de gelecekte vazgeçilmez olmaya devam edeceği görülmüştür. Bu minvalde; çalışmada, neden insansız hava araçlarını tercih etmeliyiz sorusuna cevap bulmak için İHA'ların insanlı hava araçlarına göre uygunluğu açıklanmış, İHA'ların donanmalar için önemi ifade edilmiş, kullanım alanları ve kullanan ülke donanmaları detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Çalışmanın İHA'lar ile ilgili literatüre katkı yapacağı düşünülmektedir.

2. NEDEN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Bir hava aracı en başından belirli bir rolü veya rolleri yerine getirmek için tasarlanmaktadır. Tasarımcı, rolü veya rolleri yerine getirmek için en uygun uçak tipini tasarlarken bu uçağı insanlı ya da insansız olarak düşünebilmektedir. Bundan dolayı insansız hava araçlarının her zaman insanlı hava araçlarına göre avantaj ya da dezavantajları vardır demek doğru bir ifade değildir. Bu durum sadece icra edilecek görevin tipine göre değişiklik göstermektedir.

İnsansız hava araçları da ancak ve ancak insanlı hava araçlarına karşı bir üstünlük sağladıkları takdirde kullanım alanı bulacaktır. İnsansız hava araçları özellikle 3D (Dull, Dirty, Dangerous) denilen Sıkıcı, Kirli ve Tehlikeli ortamlarda insan hayatını tehlikeye atmadan görev yaparlar (Yayla vd., 2014). Bundan dolayı da insansız hava araçları müteakip maddelerde belirtilen görev tipleri için daha uygun bir platform çeşitliliği sunmaktadır.

2.1. Sıkıcı Görevler

20-30 saat gibi uzun süre havada kalmayı gerektiren görevler uçuş mürettebatı için sıkıcı bir durum olabilmektedir. Bu tarz uzun süreli görevler, dikkat ve konsantrasyon gerektirdiği için uçuş mürettebatında konsantrasyon eksikliğine neden olarak görevin etkili bir şekilde icra edilememesine sebebiyet verebilmektedir. İnsansız hava araçları sahip olduğu yüksek çözünürlüklü kameralar ve radar sistemleri gibi faydalı yükleri sayesinde bu tarz görevlerin icrasında ideal bir çözüm sunmaktadır. İHA'ların uçurulmasında görevli yer personeline vardiyalı çalışma sistemi uygulanması ile konsantrasyon kaybının önüne geçilebilmektedir.

2.2. Kirli Görevler

Özellikle kimyasal, nükleer veya biyolojik olarak kirlenmiş bir alanda görev yapmak uçuş mürettebatının hayatını tehlikeye atacağı ve bu tarz alanlarda görev

yapmış İHA'nın temizlenmesi insanlı hava araçlarına göre daha kolay olacağı için kirli görev alanlarında İHA'lar tercih edilmektedir.

2.3. Tehlikeli Görevler

Düşman tarafından yoğun bir şekilde savunulan alanın keşif, gözetleme ve ateş altına alınması insan hayatını tehlikeye atacak bir durumdur. Özellikle bu tarz alanlar hava savunma sistemleri ve uçak savar sistemleri ile donatıldığı zaman İHA'ların tespit edilmesi daha zor olup, bu tür alanlarda görev icra etmek daha az tehlikeli ve daha az maliyetlidir. Çünkü insanlı hava araçları ile icra edilen bu tarz görevlerde oluşabilecek kaza veya kaza kırımında uçuş mürettebatının hayatı tehlikeye girmektedir.

2.4. Gizli Görevler

Askeri ya da istihbarat faaliyetleri kapsamında karşı tarafın bilgisi olmadan görevin icra edilmesi İHA'ların tespit edilebilirliğinin düşük olması sebebiyle mümkün olabilmektedir.

2.5. Araştırma Görevleri

İHA'lar havacılık ile uzay alanındaki araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Test amaçlı inşa edilen bir insansız hava aracı, gerçek koşullar altında icra edilen test faaliyetleri için daha az tehlikeli ve daha az maliyetli olmaktadır. Test amaçlı inşa edilen bir insansız hava aracı üzerinde yapılacak konfigürasyon tadilatı ise hem daha az maliyetli hem de daha kolay yapılabilecektir.

2.6. Çevresel Araştırma Görevleri

Bu özellik genellikle sivil kullanım içindir. Ancak limanlarda ve açık denizlerde oluşabilecek deniz kirliliğinin tespiti amacıyla askeri amaçlar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaç için kullanılmakta olan İHA'lar yapısı sebebiyle insanlı hava aracına göre çevreye negatif etkisi (karbon salınımı vb.) daha düşüktür.

2.7. Ekonomik Nedenler

İHA'lar aynı görevleri icra ettiği insanlı hava araçlarına göre ekonomik anlamda kullanıcılar için çok caziptir. Hangarlar maliyetleri, bakım ve onarım maliyetleri, yakıt giderleri itibarıyla oldukça ucuz bir platform seçeneği sunmaktadır.

3. YÖNTEM

Bu makalede nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması yöntemi uygulanmıştır. Günümüzde sivil ve askeri amaçlar için yaygın olarak kullanılmakta olan İHA'ların donanmalar için kullanımı internet siteleri, raporlar, dergi ve kitaplar aracılığıyla araştırılmış ve literatür taranmıştır. İHA'ların gelişimi ve İHA'lara duyulan ihtiyaç irdelenerek kullanım alanları ile kullanan ülke donanmaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Araştırmada örneklem olarak her denizci devlet için başat bir rol üstlenmekte olan donanmalar

seçilmiştir. Özellikle denizlere sahip olmanın ve üzerinde güvenliği tesis etmenin ülkelerin egemenliği açısından hayati bir gereklilik olduğu vurgulanmış ve bunun tesisi için İHA'ların kritik bir rol oynadığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada donanmaların etkin ve caydırıcı bir güç olmasında İHA'ların çok önemli olduğu gösterilmek amaçlanmıştır.

4. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ DONANMALAR İÇİN ÖNEMİ

Devletlerin denizlerdeki hak ve menfaatlerini korumak ve kollamak için, barış ve krizde caydırıcı; harpte ise savaşı kazanabilecek bir deniz kuvvetine ihtiyaç duyduğu bir hakikat olup bu hakikati gerçekleştirmek amacıyla inşa edilecek bir deniz stratejisinin temel kavramları ise;

- Deniz Hâkimiyeti,
- Deniz Kontrolü,
- Denizden Vazgeçirme/Caydırma

şeklinde ifade edilmelidir (Baybaş, 2020).

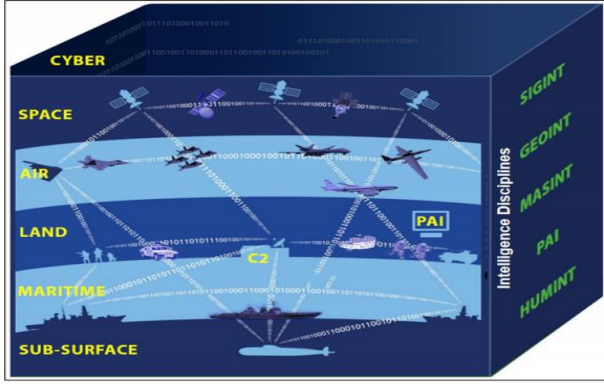
Yukarıda ifade edilen durum çerçevesinde ihtiyaç duyulacak bir deniz gücünün oluşturulması önemlidir. Bundan yaklaşık bir asır önce Ulu Önder Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK'ün Hamidiye Kruvazörü ile çıkmış olduğu Karadeniz seyahati esnasında 19 Eylül 1924 tarihinde genç Türkiye Cumhuriyeti Donanması için ifade ettiği **“Hudutlarının mühim ve büyük aksami deniz olan Türk Devleti'nin Donanması da mühim ve büyük olmak gerektir. O zaman Türkiye Cumhuriyeti daha müsterih ve emin olacaktır. Mükemmel ve kaadir bir Türk donanmasına sahip olmak gayedir”** sözü ile Donanmaya verilen hayati rol belirtilmiştir.

4.1. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Amacı

Türkiye Cumhuriyeti Donanmasına verilen ve yukarıda ifade edilen bu hayati görev gibi diğer ülkelerin kendi donanmalarına verdikleri görevlerden dolayı da donanmalara etkin ve caydırıcı bir güç olarak bakılmaktadır. Etkin ve caydırıcı bir güç olabilmenin temel kuralı olan denizde durumsal farkındalığın tesisi ve idamesi ancak ve ancak istihbarat, keşif ve gözetleme faaliyetlerinin etkili, yeterli ve kapsamlı bir şekilde yapılması ile mümkündür. Donanmalar; istihbarat, keşif ve gözetleme faaliyetlerini hem kıyı sektörlerinde hem de açık denizlerde icra etmektedir. Bu maksatla temel istihbarat, keşif ve gözetleme faaliyetlerini anlamak donanmalar tarafından bu hizmetlerin nasıl sağlandığını anlamaya yardımcı olacaktır (Dikmen vd., 2016).

Günümüzde istihbarat, keşif ve gözetleme işlevleri üç temel alan üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bunlar yer, hava ve uzay şeklindedir. Yer olarak tabir ettiğimiz alanda donanmalar bu faaliyetlerini dalar/yüzer unsurlar, sabit sensörler ve kişiler, hava olarak tabir ettiğimiz alanda insanlı ve insansız hava araçları, uzayda ise uydular vasıtasıyla yapmaktadır. Deniz yüzeyinin altından uzaya kadar istihbarat, keşif ve gözetleme faaliyetlerini gerçekleştiren unsurların dizilimi Şekil-1'de olduğu gibidir (Smagh, 2020). Bu unsurlar içerisinde; ekonomik olması, havada uzun süre kalabilmesi, hareketlerinin tespit edilebilirliğinin düşük olması gibi sebeplerle İHA'lar denizde durumsal

farkındalığın tesisi ve idamesinde çok önemli bir rol oynamaktadır (Smagh, 2020).



Şekil 1. İstihbarat, Keşif ve Gözetleme Araç Dizini

İHA'ların donanmalar için icra ettiği veya icra etmesi planlı görevler İHA'ların sınıfına ve sahip olduğu dahili/harici sistem ve sensörlere göre farklılık göstermektedir (Pearson II, 2006). İHA'lar tarafından icra edilen görevler aşağıda sunulmuştur (Rosa vd., 2016; Akyürek vd., 2012).

- Keşif ve Gözetleme,
- Mayın Tespit ve İmha,
- Denizaltı Savunma Harbi,
- Tespit/Teşhis,
- Oşinografi/Hidrografi,
- Muhabere Rölesi,
- Kargo İşlemleri,

- Suüstü Harbi,
- Direkt/Endirekt Atış,
- Deniz Güvenliği,
- Özel Operasyon birimlerine Direkt/Endirekt Destek,
- Elektronik Harp,
- Amfibi Harekât Birliklerine Direkt/Endirekt Destek,
- Arama ve Kurtarma,
- Hasar Tespiti,
- Sınır Hattının Kontrolü,
- Denizde İnsan Kaçakçılığının Tespiti,
- Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Tespit,
- Havadan Akaryakıt İkmali,
- Hava-Hava Muharebesi,
- Deniz Karakol Görevi

icra etmektedir.

4.2. İnsansız Hava Aracı Kullanan Ülke Donanmaları

Denizlerdeki hak ve menfaatlerin etkin bir şekilde tesisi ve idamesi kapsamında teçhiz edilen donanmalar taktik, operatif ve stratejik seviyede ihtiyaç duyduğu bilgilere ulaşabilmek için İHA'lara sahip olmaktadır. Günümüzde bu imkâna sahip olan ülke donanmaları derlenerek Tablo-1'de sunulmuştur (Gettinger, 2019).

Tablo 1. İnsansız Hava Aracı Sahibi Ülke Donanmaları

Ülke	Model	Üretici	Üretici Ülke	Sınıf	Hizmete Giriş	Miktar	Açıklama
ABD	MQ-8B	Northrop Grumman	ABD	III	2007	32	-
	MQ-8C	Northrop Grumman	ABD	III	2019	-	-
	MQ-4	Northrop Grumman	ABD	III	2018	4	-
	MQ-25	Boeing	ABD	III	2025	-	Test Sürecinde
Almanya	V-200	UMS Skeldar	İsveç	II	2019	2	-
Avustralya	ScanEagle	Insitu	ABD	I	2007	4	-
	CamCopter S-100	Schiebel	Avusturya	II	2017	2	-
Brezilya	FT-100 Horus	FT Sistemas	Brezilya	I	2015	6	-
Çin	Blowfish	Ziyang	Çin	I	2018	-	-
	CH-802	CASC	Çin	I	-	-	-
	ASN-209	Xi'an ASN Tech. Group	Çin	II	2011	-	-
	CamCopter S-100	Schiebel	Avusturya	II	2010	18	-
	BZK-005	Beihang	Çin	III	2007	-	-
Ekvator	SD-40	Xiamen Han's Eagle Aviation Tech.	Çin	I	-	-	Test Sürecinde
	Heron	IAI	İsrail	III	2009	2	-
Endonezya	Searcher	IAI	İsrail	II	2009	4	-
	ScanEagle	Insitu	ABD	I	2018	6	-
Fransa	V-200	UMS Skeldar	İsveç	II	2017	1	Deneme Sürecinde
Hindistan	CamCopter S-100	Schiebel	Avusturya	II	2017	2	-
	Searcher MK II	IAI	İsrail	II	2000	-	-
İngiltere	Heron I	IAI	İsrail	III	2002	-	-
	RQ-20 PUMA	AeroVironment	ABD	I	2020	-	-
İspanya	Huginn X1	Sky-Watch	Danimarka	I	2016	-	Deneme Sürecinde
	Alcotan	Unm. Solutions	İspanya	I	2016	4	Deneme Sürecinde
	Fulmar X	Thales España	İspanya	I	2017	12	-
	ScanEagle	Insitu	ABD	I	2015	8	-
İtalya	Strix-D	Alpi Aviation	İtalya	I	-	6	-

	CamCopter S-100	Schiebel	Avusturya	II	2017	2	Deneme Sürecinde
Kanada	RQ-20B Puma II AE	AeroVironment	ABD	I	2018	-	-
Kolombiya	ScanEagle	Insitu	ABD	I	2006	50	-
	NightEagle	Insitu	ABD	I	2013	-	-
	Silver Fox	BAE, Raytheon	ABD	I	2006	4	-
Malezya	ScanEagle 2	Insitu	ABD	I	2019	12	-
Meksika	T-20 JUMP	Arcturus	ABD	I	2016	6	-
Pakistan	ScanEagle	Insitu	ABD	I	2016	-	-
	LUNA	EMT	Almanya	I	2013	8	-
Rusya	Orlon-10	Special Tech. Center	Rusya	I	2013	>1000	-
	Searcher MK II	IAI	İsrail	II	2013	>30	-
Singapur	ScanEagle	Insitu	ABD	I	2012	12	-
Şili	Mavic Pro	DJI	Çin	I	2018	-	-
	Phantom SE	DJI	Çin	I	2018	-	-
Tayvan	Chung Shyang II	NCSIST	Tayvan	II	2011	32	-
Tayland	Narai 3.0	NRDO	Tayland	I	2019	80	-
Türkiye	Bayraktar TB2	Baykar Makine	Türkiye	III	2018	10	-
	ANKA	TAI	Türkiye	III	2018	4	-
Vietnam	Shikra	Viettel	Vietnam	I	2018	-	-

Tablo-1 incelendiğinde 24 adet ülke donanmasında İHA kullanılmaktadır. Bahse konu ülke donanmaları tarafından kullanılmakta olan İHA'lar Sınıf-1, 2 ve 3 olarak çeşitlenmekte ve bunlar da ağırlıkta olarak Sınıf-1'den oluşmaktadır. Sabit ve döner kanat şeklinde üretilmiş olan Sınıf-1 İHA'lar gemi ve kara bağlantılı olarak görev icra etmekte olup taktik seviyede ciddi bir katkı sunmaktadır. Operatif, stratejik ve taarruz maksatlı kullanılmakta olan Sınıf-3 İHA'ların sadece Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Çin, İsrail ve Türkiye tarafından üretilebildiği; ABD, Çin ve Türk Donanması tarafından da kullanıldığı görülmektedir. Bu üstünlüğün kıyı ve açık denizlerde görev icra eden bahse konu üç ülke tarafından etkili bir şekilde kullanılması diğer ülkeleri de bu tip sistemlere sahip olmaya zorladığı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

İHA'ların tasarlanması ve geliştirilmesi ile birlikte donanmalar görevlerinin icrası kapsamında ekstra yetenek kazanmış, farklı tip görevleri yapmak için de fırsat sahibi olmuştur. Düşük riskli ve uygun maliyetli bir hava aracı olduğu için denizlerde etkin ve caydırıcı bir rol oynamak için donanmalar tarafından son 10-15 senedir kullanıldığı görülmektedir.

Halihazırda donanmalar tarafından kullanılan insansız hava araçları daha çok taktik, operatif, stratejik seviyede istihbarat, keşif ve gözetleme faaliyetleri ile direkt/endirekt atışları gerçekleştirmektedir. Bu durum denizde durumsal farkındalığın tesisi ve idamesi ile hasım ülkelere ait hava savunma sistemleri, radar sistemleri vb. yüksek değerlikli unsurların imha edilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

İnsansız hava araçlarının boyut, ağırlık, güç, malzeme yapısı ve dayanımı, taşıyabilecekleri harici/dahili sensör ve yük konuları ile ilgili yapılan/yapılacak çalışmalar sayesinde insansız hava araçlarının halihazırda insanlı hava araçları

tarafından icra edilmekte olan görevleri de etkin bir şekilde yerine getirebileceği açıktır.

Ülkeler, özellikle Sınıf-3 uydu kontrollü İHA'ları envanterlerine dahil ettiklerinde, donanmalarının yüzer/dalar unsurlarının ihtiyacı olan istihbarat, keşif ve gözetleme bilgilerini sağlayarak okyanus ötesi/uzak mesafelerde hareket yapabilmeye kabiliyetini artıracaktır. Donanmaların kullanımına tahsis edilecek hava araçlarının birlikte görev yapabilecek (P-8 Poseidon ve MQ-4 Global Hawk) kabiliyette olması kaynakların kullanımı ve görevlerin etkinlikle icrası açısından da önemli olacaktır. Ayrıca havadan yakıt ikmali icra edebilecek İHA'ların envantere dahil olması ile birlikte İHA'ların havada kalma süresi artacağı için görev etkinliği de yükselecektir.

Donanmaların etkinliğinin artırılmasında İHA'ların rolü ile ilgili yapılan bu çalışma, literatür taramasına dayandırılmış ve sadece Donanmalar tarafından kullanılmakta olan İHA'lar ile sınırlandırılmıştır. Bu kapsamda İHA'lar ile ilgili çalışan araştırmacılar ileriki dönemlerde farklı konular hakkında nicel ve nitel araştırmalar yapabilirler. Denizde durumsal farkındalığın sağlanmasında İHA'ların rolü, sabit ve döner kanat İHA'ların taktik seviyedeki rolü, Donanmalar için stratejik sınıf İHA'ların avantajı bu konulardan bazıları olabilir.

KAYNAKÇA

Austin R (2010). Unmanned Aircraft Systems UAVS Design, Development and Deployment, 1, ISBN: 9780470664797, 372s.

Akyürek S, Yılmaz M A & Taşkıran M (2012). İnsansız Hava Araçları, Muharebe Alanında ve Terörle Mücadelede Devrimsel Dönüşüm, BİLGESAM, Rapor Nu.:52, 65s.

Baybaş M H (2020). Türk Deniz Kuvvetleri İçin Hangi Deniz Stratejisi? Deniz Hakimiyeti, Deniz

Kontrolü ve Denizden Vazgeçirme/Caydırma...Ya Güç Aktarımı? <https://www.savunmahaber.com/turk-deniz-kuvvetleri-icin-hangi-deniz-stratejisi-deniz-hakimiyeti-deniz-kontrolu-ve-denizden-vazgecirme-caydirma-ya-guc-aktarimi/> Accessed 18.11.2020.

Dikmen M, Atalay M. & Gümüş B (2016). Role of Unmanned Aircraft Systems in Maritime Security. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 26 (3), 164-171.

Gettinger D (2019). The Drone Databook, Center for the Study of Drone, 319s.

Gürdeniz M C (2015). Jeopolitik, Savunma ve Güvenlik Perspektifinde Türk Deniz Gücü ve 21nci Yüzyıl. <https://add.org.tr/wp-content/uploads/2015/04/jeo.pdf>, Accessed 15.11.2020.

Pearson II C F (2006). The Way Ahead for Maritime UAVs. Naval War College, Newport, 34s.

Rosa G C, Marques M M & Lobo V (2016). Unmanned Aerial Vehicles in the Navy: Its Benefits. *Naval Academy Scientific Bulletin*, 19(1), 39-43.

Smagh S N (2020). Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Design for Great Power Competition. Congressional Research Service, R46389.

Suraj G G, Mangesh M G, & Jawandhiya P M (2013). Review of Unmanned Aircraft System (UAS). *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*, 2(4), 1646-1658.

Yayla M, Ergin Ü, Mutlu T & Kurtuluş D F (2014). Bir Muharip İnsansız Uçak Sistemi İçin Performans Gereksinimlerinin Belirlenmesi. HİTEK-2014-024, III.Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı, HHO, İstanbul, 18-19 Haziran 2014.



© Author(s) 2020.

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



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

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

e-ISSN 2687-6094



Using of Hybrid Data Acquisition Technique for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis

Seda Nur Gamze Hamal*¹, Binnaz Sarı¹, Ali Ulvi¹

¹ Mersin University, Institute of Science, Remote Sensing and Geographical Information Systems, Mersin, Turkey

Keywords

TLS
UAV
Photogrammetry
CrP
Hybrid

ABSTRACT

Various studies have been carried out on the documentation of cultural heritage with different methods. The correct data collection method is as important as the selection of the method to be used in the studies. Documentation studies focus on saving time and cost rather than data collection methods. However, obtaining accurate and complete data increases the accuracy of the documentation work. At this point, image-based documentation studies such as photogrammetry provide important contributions to operators. Although a single data collection tool is preferred in most of the studies conducted with the photogrammetry method, it is necessary to obtain images from different locations (ground and air) for accurate and complete data. Recently, the term Unmanned Aerial Vehicles (UAV) photogrammetry has emerged with the use of UAV in documentation studies. In this way, a complete model is created in the documentation studies to be performed by collecting data from both the ground and the air. In this study, three different data collection methods were used for documentation. Hybrid data collection approach, Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Close-range Photogrammetry (CrP), and UAV photogrammetry techniques are selected and presented. Finally, three-dimensional (3D) data of Soli-Pompeopolis were created by combining these point clouds.

Kültürel Miras için Hibrit Veri Toplama Tekniğinin Kullanılması: Pompeiopolis Örneği

Anahtar Kelimeler

YLT
İHA
Fotogrametri
Yersel Fotogrametri
Hibrit

ÖZET

Kültürel mirasın farklı yöntemlerle belgelenmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılacak yöntemin seçimi kadar doğru veri toplama yöntemi de önemlidir. Dokümantasyon çalışmaları, veri toplama yönteminden çok, zamandan ve maliyetten tasarruf etmeye odaklanır. Ancak, doğru ve eksiksiz verilerin elde edilmesi dokümantasyon çalışmasının doğruluğunu artıracaktır. Bu noktada fotogrametri gibi görüntü temelli dokümantasyon çalışmaları operatörlere önemli katkılar sağlamaktadır. Fotogrametri yöntemi ile yapılan çalışmaların çoğunda tek bir veri toplama aracı tercih edilmekle birlikte, doğru ve eksiksiz veri için farklı lokasyonlardan (yer ve hava) görüntü elde edilmesi gerekmektedir. Son zamanlarda İnsansız Hava Araçlarının (İHA) dokümantasyon çalışmalarında kullanılmasıyla İHA fotogrametrisi terimi ortaya çıkmıştır. Böylelikle hem yerden hem de havadan veriler toplanarak yapılacak dokümantasyon çalışmalarında eksiksiz bir model oluşturulur. Bu çalışmada dokümantasyon için üç farklı veri toplama yöntemi kullanılmıştır. Hibrit veri toplama yaklaşımı, Yersel Lazer Tarama (YLT), Yersel Fotogrametrisi ve (İHA) fotogrametrisi teknikleri seçilerek sunulmuştur. Son olarak, bu nokta bulutları birleştirilerek Soli-Pompeopolis'in üç boyutlu (3B) verileri oluşturulmuştur.

*Sorumlu Yazar (*Corresponding Author)

Cite this article (APA);

(sedanurgamzehamal@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1050-3088
(binnaz452@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-8240-9680
(aliulvi@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-3005-8011

Hamal S N G, Sarı B & Ulvi A (2020). Using of Hybrid Data Acquisition Technique for Cultural Heritage a Case Study of Pompeiopolis. Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles, 2(2), 55-60

1. INTRODUCTION

Cultural structures are damaged over time due to natural or unnatural reasons. Besides, archaeological sites are also affected by this situation, as well as the destruction of the structure. The restoration, restitution, and excavation works of the destructions that have occurred contribute to the correct research and transfer of the artifacts or archaeological sites. The first step in the work to be done in an artifact or archaeological site is documentation studies (Unger et al., 2014; Rinaudo et al., 2012; Alshwabkeh et al., 2020; Şenol et al., 2020).

Various studies are carried out on documentation studies using different methods (Aragon et al., 2018; Wilson et al., 2018). Ulvi et al. (2020) classified the documentation of cultural heritage into two titles as traditional and advanced methods. They included TLS, CrP, and UAV photogrammetry, which also includes the subject of this study, in advanced methods (Şenol et al., 2017; Messaoudi et al., 2018; Xiao et al., 2018).

The photogrammetric method is one of the most often used techniques in documentation studies. The photogrammetric method is more efficient than traditional methods, 25 times more advantageous in terms of graphics, and 10 times more accurate in terms of accuracy (Şanlığolu, 2013; Yakar et al., 2016; Ulvi & Yiğit, 2019; Şenol & Kaya, 2019; Ulvi et al., 2019; Alptekin & Yakar, 2020). In addition, Yakar et. al 2015; Ulukavak et al., 2019) stated that the photogrammetry technique saves time and cost compared to traditional documentation techniques. Especially in documentation studies, it is desired to save time and cost in collecting data (Çelik et Al., 2020; Yakar et al., 2021). However, while trying to save cost and time, choosing the wrong data collection method can push the operator to collect incomplete data. Collect complete data is an important factor in method selection. For this reason, several data collection methods should be used to collect all data belonging to the study area. Therefore, in the study, data were collected using TLS, CrP, and UAV photogrammetry methods, which are among the modern methods (Assali et al., 2014; Aicardi et al., 2016; Liang et al., 2018).

The use of a single method in modeling complex structures, especially in the photogrammetry technique, in the documentation of cultural heritage does not allow accurate and complete documentation (Yiğit et al., 2020). Because, with terrestrial systems (TLS and CrP), the data of the bottom part of the structure can be taken, but the top of the structure cannot be collected (Ulvi & Yiğit, 2020a). The data deficiency arising from this situation can be overcome by changing the location where the device is installed or by using another data collection tool to collect the data of the upper fronts. UAVs, which have been used by many disciplines in recent years, have been integrated into this area and this problem has been overcome.

In this study, TLS, CrP, and UAV photogrammetry techniques, which are among the modern data collection and documentation techniques, were used. The hybrid data collection deal is presented by selecting laser scanning (TLS) (Figure2) and Close-range photogrammetry (CrP) (Figure 3) and UAV photogrammetry techniques (Figure 4). An accurate and dense set of 3D points belonging to all facets of the

structure was acquired with hybrid data collection techniques. The TLS, CrP, and UAV photogrammetry techniques used in the study were processed separately and the accuracy of 0,4-1,1-1,3 cm was calculated respectively. Finally, a three-dimensional (3D) data of Soli-Pompeipolis were created by combining these point clouds.

2. METHOD

TLS method, CrP, and UAV photogrammetry are frequently used in 3D modeling of historical and cultural sites (Beraldin, 2004; Gašparović & Malarić, 2012; Jo & Kim 2017; Kaya et al., 2019). However, in some areas, it becomes necessary to use both laser scanning, CrP, and UAV photogrammetry, both the height and the shape of the structures and areas (Chiabrando et al., 2017; Ulvi & Yiğit, 2020b; Yiğit & Uysal, 2020). Because the high columns in the historical area caused laser beams to be invisible. The existence of archaeological excavations in some parts of the region made it difficult to install a laser scanning device. Thus, CrP and UAV photogrammetry method is used in places where laser beams cannot be seen. In this study, the TLS method, CrP, and UAV photogrammetry were used in a hybrid the way that.

2.1. Study Area

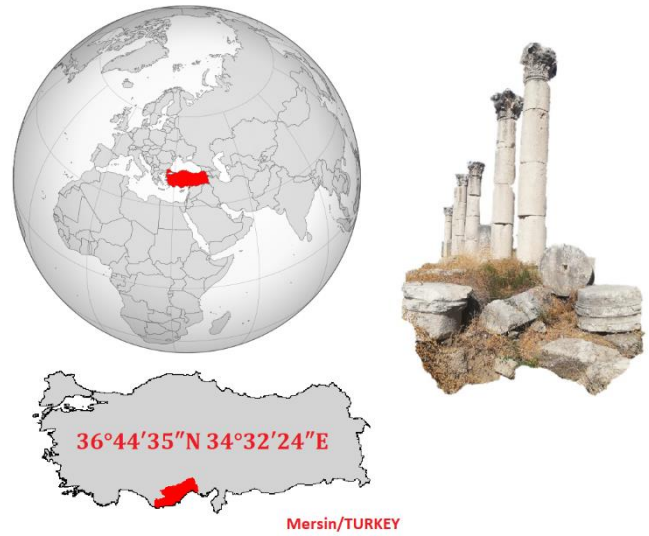


Figure 1. Study Area

Soli Pompeopolis located in Mersin / Turkey (Figure 1), is one of the most important ruins of the province where it is located. It is a large site with an ancient harbor (URL-1). According to the archaeological excavations started in 1999: BC. It has been among the important port cities of the Eastern Mediterranean since 2000. There are 49 columns on the site and the columns are in a complex structure with Corinthian type capitals (URL-2).

2.2. Data Acquisition, Field-Work, and Office-Work

In the documentation made in the study, data were collected using TLS, CrP, and UAV photogrammetry techniques. For TLS, CrP, and UAV, respectively; Faro FocusS 350 - Nikon D300 - Anafi Parrot devices are used.



Figure 2: Terrestrial Laser Scanning (TLS) technique

Scans were made at 49 different station points determined in the study area. The number and location of the station points have been determined in a way that the area to be scanned can see one or more areas.



Figure 3: UAV Photogrammetry



Figure 4: CrP Photogrammetry

Overlapping photographs were taken for CrP and UAV photogrammetry. For CrP 326 image data were collected for 78 UAV. Photo data were collected manually for CrP and automatically for UAV. Also, with Total-stations, target, and characteristic details were measured to transfer the result products created from different data collection methods both for registration and to the same scale and coordinate system.

In the process of data processing, firstly, pre-processing was performed for all data collection techniques. The data taken from the TLS method were transferred to the JRC 3D Reconstructor software.

After the created data, a point cloud was produced by geo-referencing. Data from CrP and UAV were also combined in the Context Capture software. The CrP, UAV photogrammetry and TLS techniques used in the study were processed separately and the accuracy of 1,3-1,1-0,4 cm was calculated respectively. The data obtained from CrP and UAV photogrammetry method and the data obtained from TLS were combined in the same coordinate system in the JRC 3D Reconstructor software in a hybrid way. The methods used in the study and the chart of work-flow are given in Figure 5.

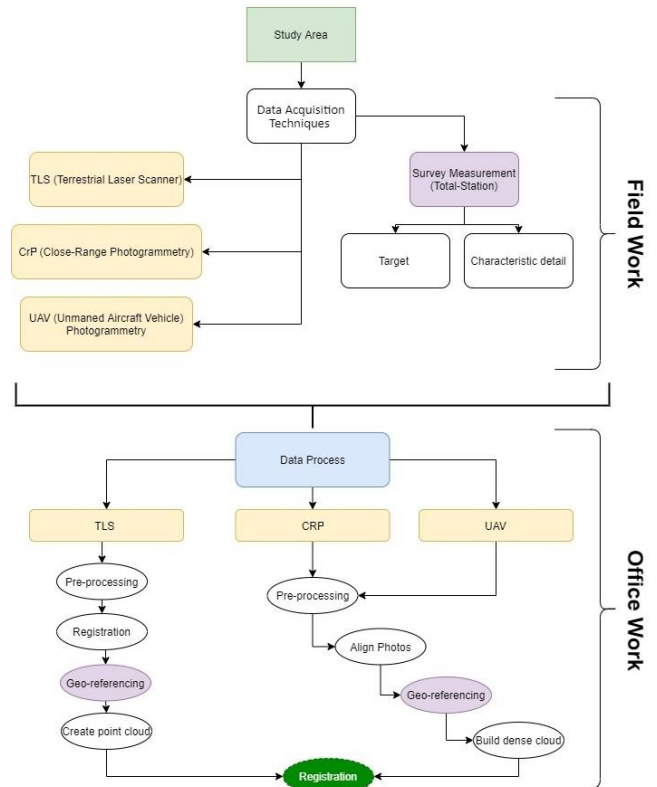


Figure 5: Workflow Chart

The mean error of the combined data from these techniques was calculated as ± 0.97 cm. Finally, a 3D model of Soli-Pompeipolis was created by combining these point clouds.

Created point cloud and mesh model are given in Figure 6 and Figure 7.



Figure 6: The resulting dense point clouds.



Figure 7: The resulting mesh model

3. DISCUSSION AND CONCLUSION

TLS, CrP, and UAV photogrammetry often have been used. By using these techniques together, complete data of the study area can be collected. In the study, while evaluating the data obtained from all systems (TLS, UAV, and CrP), the advantages and disadvantages of the systems were also examined. In this study; Fast, high quality and resolution data can be collected at close-range with the TLS method. However, this method has two disadvantages due to its cost and data collection. Although the CrP method saves time and is a low-cost data collection method, it has a disadvantage due to its data collection and not being able to be used effectively in large areas.

Firstly, it has yielded quite successful results in 3D modeling in all systems. However, with the UAV system, the data required for 3D modeling can be obtained faster and the data are processed faster. UAV photogrammetry has an advantage in terms of aerial data collection and cost, but it is affected by weather conditions and is not used in every area (prohibited area). In the scanning process with the lidar scanner, there were some deficiencies in the joints of the columns and the upper parts of the structures due to the measurement principle of the TLS system. In such cases, it is necessary to install the TLS system in line with the object to be scanned as possible or a little higher. Therefore, the working area was scanned using the maximum viewing angle that can

be taken from the ground. On the other hand, the missing parts of the TLS system were successfully measured in this system, provided that the UAV system was scanned from the top and taking an oblique image on the lateral surfaces. However, CrP technique was used to obtain detailed lateral surfaces of the remains. For this reason, the hybrid method should be used as these methods are insufficient. Thus, a complete document belonging to the study area has been created. The historical work of this document; It is anticipated that it will contribute to the transmission, preservation, documentation, and management of future generations.

REFERENCES

- Aicardi I, Dabove P, Lingua A M & Piras M (2016). Integration between TLS and UAV photogrammetry techniques for forestry applications. *iForest- Biogeosciences and Forestry*, 10 (1), 41.
- Alptekin A & Yakar M (2020). Mersin Akyar Falezini'nin 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2 (1), 5-9.
- Alshawabkeh Y, El-Khalili M, Almasri E, Bala'awi F & Al-Massarweh A (2020). Heritage documentation using laser scanner and photogrammetry. The case study of Qasr Al-Abidit, Jordan. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 16, e00133.
- Aragón E, Munar S, Rodríguez J & Yamafune K (2018). Underwater photogrammetric monitoring techniques for mid-depth shipwrecks. *Journal of Cultural Heritage*, 34, 255-260.
- Assali P, Grussenmeyer P, Villemin T, Pollet N & Viguier F (2014). Surveying and modeling of rock discontinuities by terrestrial laser scanning and photogrammetry: Semi-automatic approaches for linear outcrop inspection. *J. Struct. Geol.*, 66, 102-114.
- Beraldin J A (2004). Integration of Laser Scanning and Close-Range Photogrammetry—The last decade and beyond. In *Proceedings of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXV-B4, Istanbul, Turkey, 12-23 July 2004*; 12-23.
- Çelik M, Yakar İ, Hamal S N G, 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.
- Chiabrando F, Spanò A, Sammartano G & Teppati Losè L (2017). UAV oblique photogrammetry and lidar data acquisition for 3D documentation of the Hercules Fountain. *Virtual Archaeology Review*, 8 (16), 83-96.

- Gaşparović M & Malarić I (2012). Increase of readability and accuracy of 3D models using fusion of close range photogrammetry and laser scanning. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, B5.
- Jo Y H & Kim J Y (2017). Three-Dimensional Digital Documentation of Heritage Sites Using Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42 (2/W5).
- 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.
- Liang H, Li W, Lai S, Zhu L, Jiang W & Zhang Q (2018). The integration of terrestrial laser scanning and terrestrial and unmanned aerial vehicle digital photogrammetry for the documentation of Chinese classical gardens—A case study of Huanxiu Shanzhuang, Suzhou, China. *Journal of Cultural Heritage*, 33, 222-230.
- Messaoudi T, Véron P, Halin G & De Luca L (2018). An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 100-112.
- Rinaudo F, Chiabrando F, Lingua A & Spanò A (2012). Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39 (B5), 583-588.
- Şanhoğlu İ, Zeybek M & Karauğuz G (2013). Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivritz Rock Relief in Late Hittite Er. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13 (2).
- Şenol H & Kaya Y (2019). İnternet Tabanlı Veri Kullanımıyla Yerleşim Alanlarının Modellenmesi: Çiftlikköy Kampüsü Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 11-16.
- Şenol H İ, Erdogan S, Onal M, Ulukavak M, Memduhoglu A, Mutlu S & Yilmaz M (2017). 3D Modeling of A Bazaar In Ancient Harran City Using Laser Scanning Technique. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- Şenol H İ, Memduhoğlu A & Ulukavak M (2020). Multi instrumental documentation and 3D modelling of an archaeological site: a case study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1241-1250.
- Ulukavak M, Memduhoğlu A, Şenol H İ & Polat N (2019). The use of UAV and photogrammetry in digital documentation. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 17-22.
- Ulvi A & Yiğit A (2019). Kültürel Mirasın Dijital Dokümantasyonu: Taşkent Sultan Çeşmesinin Fotogrametrik Teknikler Kullanarak 3B Modelinin Yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1 (1), 1-6.
- 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), 19-26.
- Ulvi A & Yiğit A Y (2020a). 3D Modelling of Kayseri Tekgoz Bridge. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1), 29-32.
- Ulvi A & Yiğit A Y (2020b). 3D study of modelling and animation of Kayseri Gülük Mosque. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 33-37.
- 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.
- Unger J, Reich M & Heipke C (2014). UAV-based photogrammetry: monitoring of a building zone. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences- ISPRS Archives*, 40 (5), 601-606.
- Wilson L, Rawlinson A, Frost A & Hopher J (2018). 3D digital documentation for disaster management in historic buildings: applications following fire damage at the Mackintosh building, The Glasgow School of Art. *Journal of Cultural Heritage*, 31, 24-32.
- Xiao W, Mills J, Guidi G, Rodríguez-González P, Barsanti S G, González-Aguilera D (2018) Geoinformatics for the conservation and promotion of cultural heritage in support of the UN Sustainable Development Goals. *ISPRS J. Photogramm. Remote. Sens.*, 142, 389-406.
- Yakar İ, Çelik M, Hamal S & Bilgi S (2021). Kültürel Mirasın Dokümantasyonu Çalışmalarında Farklı Yazılımların Karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. *Geomatik Dergisi*, 6 (3), 217-226.
- Yakar M, Kabadayı A, Yiğit A Y, Çıkkıkcı K, Kaya Y & Catin S S (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3 Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1 (1), 14-18.
- Yakar M, Orhan O, Ulvi A, Yiğit A Y & Yüzer M M (2015). Sahip Ata Külliyesi Rölöve Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Yiğit A Y, Kaya & Kabadayı A (2020). Comparison of Documenting Cultural Artifacts with the 3D Model in Different Software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 51-58.

Yiğit A Y & Uysal M (2020). Automatic Road Detection From Orthophoto Images. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (1), 10-17.

Digital References

URL-1 <http://www.solipompeiopolis.com/icerik/1/turkce.html>

URL-2 <http://www.solipompeiopolis.com/icerik/19/2010-kazilari.html>



© Author(s) 2020.

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



Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi

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

e-ISSN 2687-6094



İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Üretilen Şeritvari Haritalardan Kübaj Hesabı

Alperen Erdoğan*¹, Ömer MUTLUOĞLU²

¹Yozgat Bozok Üniversitesi, Şefahtli Meslek Yüksekokulu, Yozgat, Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

İHA
Uzaktan Algılama
Fotogrametri
Ortofoto
SYM

ÖZ

Mühendislik projelerinde zaman, maliyet ve doğruluk kavramları önemli değere sahiptir. Bu sebeple, mühendislik projelerinin kısa zaman, düşük maliyet ve yüksek hassasiyet gözetilerek yapılması gerekmektedir. Fotogrametrik Tekniklerin İHA'lar ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin tespit edilmesi, bu projelerin üretimine yeni bir soluk katacak ve bu teknik ile daha kısa zamanda, daha hassas ve düşük maliyetler ile mühendislik projeleri üretilebilecektir. Gelişen ve değişen teknoloji harita mühendisliğini özellikle fotogrametri anabilim dalını yakından etkilemektedir. Son yıllarda sayısal arazi verilerinin elde edilmesinde çok farklı seçenekler kullanıma sunulmaya başlanmıştır. Bunlardan biri İnsansız Hava Araçlarına metrik olmayan kameraların monte edilmesi yoluyla araziden sayısal verilerin toplanmasıdır. Bu çalışmanın amacı insansız hava aracına (İHA) ile alınan görüntülerden elde edilen ortofoto haritanın nokta konum hassasiyetleri incelenmiştir. Bu amaçla seçilen pilot bölgede 5-10-15 sayıda YKN'ler kullanılarak 3B model ve ortofoto haritalar üretilmiştir. Hassasiyeti yüksek olan 15 YKN ile üretilen Agisoft verisi kullanılarak hacim hesabı yapılmıştır. Hacim hesabında %99 oranında doğruluk tespit edilmiştir.

Contour Calculation from Stripe Maps Produced by Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Keywords

UAV
Remote Sensing
Photogrammetry
Orthophoto
SYM

ABSTRACT

Time, cost and accuracy concepts have important value in engineering projects. For this reason, engineering projects should be done in short time, low cost and high sensitivity. Determining the usability of Photogrammetric Techniques in engineering projects with UAVs will add a new breath to the production of these projects, and with this technique, engineering projects can be produced in a shorter time, with more precision and with lower costs. Developing and changing technology closely affects map engineering, especially the photogrammetry department. In recent years, many different options have been introduced to obtain digital land data. One of these is the collection of digital data from the field by mounting non-metric cameras to Unmanned Aerial Vehicles (UAV). The aim of this study was to examine the point position sensitivities of the orthophoto map obtained from the images taken by unmanned aerial vehicles. For this purpose, 3D model and orthophoto maps were produced by using 5-10-15 number of GCPs in the selected pilot area. The volume was calculated using Agisoft data produced with 15 YKN with high precision. An accuracy of %99 was determined in the volume calculation.

1. GİRİŞ

Fotogrametri tarihinin ilk uygulamaları, yersel fotogrametri alanında yapıldığı bilinmektedir (Bügler vd., 2009; Yakar vd., 2016; Ulvi vd., 2019). İlk fotogrametrik uygulamalar yersel uygulamalar olmasına rağmen süre içerisinde hava fotogrametrisi alanında da gelişmeler göstermiştir. Bunun sebebi ise geniş alanların haritalanması hava fotogrametrisi ile hem ekonomik hem de daha kısa sürede yapılmasına imkân sağlamasıdır. Son yıllarda dijital fotogrametrik uygulamalarda yaşanan hızlı gelişmeler ve çekilen resimlerin dijital fotogrametri sayesinde değerlendirilmesinde büyük kolaylıklar sağlamıştır. Klasik hava kamera sistemlerinin yüksek maliyette olması, yapılacak uygulamaların uçuş iznine tabi tutulması klasik fotogrametri yöntemiyle çalışmasını zor kılmaktadır. Ayrıca klasik hava fotogrametri sistemlerinin sivil kullanıcılar tarafından temin edilmesi maliyetli ve uzun izin protokollerinde zaman kaybı yaşatacağı için, daha az maliyet ve izin protokolü gerektiren insansız hava aracı (İHA) platformları son yıllarda daha da çok gündeme gelmesini sağlamıştır (Ulvi vd., 2020; Kabadayı & Uysal, 2019).

Metrik olmayan dijital kameralarında haritacılık uygulamalarında kullanılabilir hale gelmesi ve İHA platformlarına kolayca yerleştirilmesi sayesinde bu platformların kullanılabilirliğini daha makul hale getirmiştir. İHA askeri amaçlardan 3B modelleme, haritacılık, gözetleme ve izleme gibi farklı birçok amaç için kullanılmaktadır (Uysal vd., 2013; Ulvi vd., 2019; Yiğit & Uysal, 2020)

Uydu sistemleri ile taşkın haritalamadan obje tespitine kadar birçok uygulamada yararlanılmaktadır (Tao vd., 2004; Yiğit & Kaya, 2020; Kaya & Polat, 2020). Fakat İHA'ların uydu sistemlerine göre daha fazla avantajları bulunmaktadır (Erdoğan, 2016; Yiğit & Uysal, 2020). Konum olarak daha hassas çözünürlükte veriler üretilebilmektedir. Aynı zamanda istenilen zamanda veriler üretilebilmektedir. Uydulardan istenildiği zaman veri elde etmek mümkün olmadığı gibi üretilen verinin kalitesi de bulutluluk gibi faktörlerden dolayı talebi karşılayamayabilir. Aynı zamanda uydu sistemlerine göre daha ekonomik veri üretimi sağlamaktadır. İHA'lar sayesinde zamansal çözünürlüğü yüksek veriler elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada İHA ile çekilen resimler fotogrametrik yöntem ile değerlendirilirken farklı sayıda YKN'ler kullanılarak 3B model ve ortofoto üretilmiştir. Konum hassasiyeti yüksek olan 15 YKN ile üretilen 3B model kullanılarak kubaj hesabı yapılmıştır. Modelden üretilen ve 1/1000 olarak yersel jeodezik ölçümler ile üretilen haritalardan üretilen kubaj karşılaştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışma Bölgesi

Çalışma alanı Konya İli içerisinde bulunan Selçuk Üniversitesi Kampüsünün kuzeybatısından geçmekte olan, Dokuz mevkiisinde son bulan çevre yolu projesinin 96+600.000 km'si ile 108+000.000 km'si arasındaki kesim 2 olarak adlandırılan karayolu projesinin 105+980.000 km si ile 108+000.000 km si arasındaki bölge proje alanı olarak seçilmiştir ve Şekil 1'de gösterildiği üzere gösterilmiştir.



Şekil 1. Şeritvari haritası yapılmak üzere seçilen alan YKN'lerin uydu görünümü

2.2. Kullanılan Veri ve Özellikleri

Bu çalışma kapsamında tam otomatik uçuş yeteneğine sahip Dji firmasının ürettiği Dji Phantom Professional 3 isimli İHA kullanılmıştır (Şekil 2). Hazırlanan uçuş planlarına göre uçuş otomatik olarak gerçekleştirilmiş ve belirlenen kriterlere göre çalışma alanına ait fotoğraflar çekilmiştir. Fotoğraf çekim işlemi cihazda bulunan sabitlenmiş 12 MP çözünürlüklü FC 300 X isimli dijital kamera ile gerçekleştirilmiştir. İnsansız hava aracına ve fotoğraf makinesine ait teknik bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Uçuş öncesi zemine metal levha yerleştirilerek Yer kontrol noktaları (YKN) tesis edilmiştir (Şekil4). YKN'ler RTK GPS alıcısı ile ölçülmüştür (Şekil 3).



Şekil 2. DJI Phantom 3 (URL 1)



Şekil 3. RTK GPS Cihazı



Şekil 4. YKN işaretlenmesi

Tablo 1. Kullanılan cihaz ve özellikleri

DJI Phantom Professional 3	Kamera	RTK GPS
Ağırlık 1280 gr	Fotoğraf Çözünürlük 12 MP	Kompakt hafif tasarım
Max Hız 16m/s	4000x3000	GPS ve Glonass Uyduları
Tırmanış 5m/s	Odak F:2.8	Entegre bluetooth iletişimi
İniş 3 m/s	Deklanşör hızı 1/2000 sn	Çift frekanslı
Navigasyon GPS/GLONASS	Video çözünürlüğü 2.7K	6.4 km kapsama

2.3. Uygulama

Güzergâh alanı içerisinde Karayolları Genel Müdürlüğüne ait poligon taşlarına ilaveten 44 adet YKN işaretlenmiştir. Belirlenen YKN ve kareyaj noktaları RTK GPS yöntemiyle ölçülmüştür. Koordinatlandırmada kullanılan YKN'lerin ve kontrol noktaların dağılımı Şekil 6'da gösterildiği üzere verilmiştir. Uçuş planlaması Pix4d Mapper Capture programında hazırlanmıştır (Şekil 5). Belirlenen güzergâhta yedi uçuş gerçekleştirilmiştir. Her uçuş yaklaşık 16 ha'lık alan kapatmaktadır fakat yol güzergâhında kurb olduğu için fazladan bir planlama daha yapılmıştır. Elde edilen görüntüler 80 m yükseklikte %70 enine ve %80 boyuna bindirmeli olarak 924 adet fotoğraf çekilmiştir.



Şekil 5. Pix4d Mapper Capture programı uçuş planlaması

Görüntülerin alınmasında kullanılan FC 300 X isimli dijital kamera kalibrasyon değerleri, kullanılan yazılımlar içerisindeki değerler yardımı ile yapılmıştır.



Şekil 6. Şeritvari haritası yapılmak üzere seçilen alan YKN'lerin uydu görünümü

Görüntü işleme yazılımı olan Pix4D ve Agisoft ile 924 adet fotoğraf, ilk olarak 5 YKN daha sonra 10 YKN son olarak 15 YKN kullanılarak ortofoto haritaları üretilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Pix4D Mapper Pro ile değerlendirmede kullanılan 5-10 ve 15 YKN dağılım gösterimi

Kontrol noktalarının (KN) GPS RTK yöntemi ile ölçülen koordinatları baz alınarak nokta bulutundan elde edilen koordinatları karşılaştırılmış. Araziye işaretlenen toplam 44 noktanın içerisinde YKN'ler belirlenmiş bu YKN noktaların dışındakiler kontrol noktası (KN) olarak kullanılmıştır. KN'lerin konum doğrulukları tablo 2'de gösterilmiştir.

KN'lerin karesel ortalama hata hesabı yapılırken karşılaştırma da X, Y ve Z yönündeki hatalar;

$$V_Y = Y - Y_K$$

$$V_X = X - X_K$$

$$V_Z = Z - Z_K$$

$$m_Y = \pm \sqrt{\frac{[V_Y V_Y]}{n}} \quad m_X = \pm \sqrt{\frac{[V_X V_X]}{n}} \quad m_Z = \pm \sqrt{\frac{[V_Z V_Z]}{n}}$$

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[V_Y V_Y][V_X V_X]}{n}}$$

formülleri ile hesaplanmıştır.

Bu formüllerdeki;

- Y_{K,X_K} : Model üzerinden elde edilen nokta koordinatları
 Y, X : RTK GPS ile belirlenmiş nokta koordinatları
 m_x : X yönündeki karesel ortalama hata
 m_y : Y yönündeki karesel ortalama hata
 m_z : Z yönündeki karesel ortalama hata
 m_p : Konum ortalama hatası
 n : Nokta sayısı

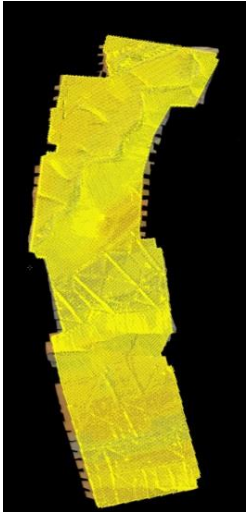
Tablo 2. Kontrol noktalarının karesel ortalama hataları

Kullanılan Yazılım	Karesel Ortalama Hata (cm)				Kullanılan YKN Sayısı
	m_y	m_x	m_z	m_p	
Agisoft	16,50	22,80	19,70	28,10	5 YKN
	8,80	10,30	10,20	13,50	10 YKN
	4,40	3,80	4,00	5,80	15 YKN
Pix4D	27,40	30,80	30,90	41,10	5 YKN
	7,00	10,00	9,00	12,20	10 YKN
	4,60	5,30	4,60	7,00	15 YKN

Tablo 2 de ki verilere göre karesel ortalama hatası en düşük olan Agisoft yazılımında üretilmiş olan 15 YKN'li model ile hacim hesabı çalışması yapılmıştır.

2.3.1. Hacim Hesabı

Çalışmada İHA görüntülerinden elde ettiğimiz sonuçları en doğru olan 15 YKN'li Agisoft yazılımı sonuçları ile üretilen ortofoto ve SYM'leri Virtual Surveying programında yeni bir proje oluşturarak şekilde birleştirildi. Virtual Surveying yazılımında arazinin yapısını belirleyecek şekilde 5m aralıklı grid ağı oluşturulmuştur (Şekil 8).



Şekil 8. Virtual Surveying yazılımında oluşturulan grid ağı

Çalışmada, referans olarak Karayollar 3. Bölge Müdürlüğü'nün yaptırmış olduğu 1/1000 ölçekli fotogrametrik hâlihazır harita kullanılmıştır. Oluşturduğumuz grid ağından elde edilen hâlihazır haritada rastgele 1453.15 m uzunluğunda güzergâh belirlenmiş ve belirlenen güzergâhta 20 m aralıklarla

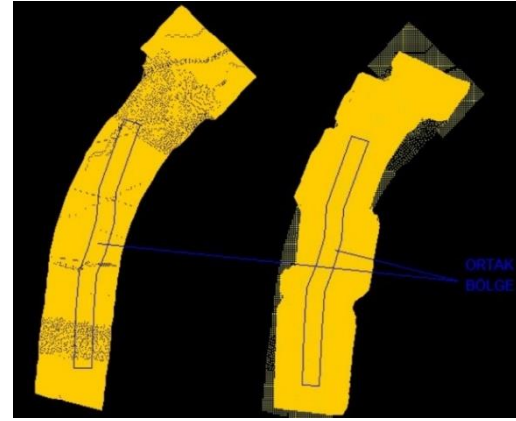
boy kesit ve 50 m genişliğinde en kesitler oluşturulmuştur. En kesitler kullanılarak TCK yöntemlerine göre oluşturulan Brüknel Diyagramındaki kübaj farkı;

Tablo 3. Netcad Ortamında Enkesitlerden üretilen Brüknel Diyagramı (1+410.15 km)

	Kümülatif Hacim (m ³)		Brükner Değeri
	Yarma	Dolma	
1+ 420.00	9051.39	10157.27	-1150.88
1+ 440.00	9320.65	10606.46	-1285.81
1+ 435.15	9543.43	10782.94	-1239.51

Tablo 3'te verildiği üzere 1239.51 m³ olduğu görülmektedir.

Aynı güzergâh en kesitler kullanılmadan, güzergâhın sağında ve solunda 50 m paraleller atılarak kapalı bir alan oluşturuldu. Halihazır üzerinden hesaplanan alan ve hacim değerleri Tablo 4'de, İHA görüntüleri ile üretilen verilerden üretilen alan ve hacim hesaplamaları Tablo 5'te verilmiştir. Hesaplamalarda 1250 m taban kot olmak üzere kazı ve dolgu hacmi hesaplamaları Tablo 6'da sunulmuştur. Hesaplama da kullanılan ortak alanın sınırları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Belirlenen güzergâhın etrafında oluşturulan kapalı bölge

Tablo 4. 1/1000'lik hâlihazır Netcad kazı dolgu hesabı

Hacim Raporu	Değer
Kazı Hacmi	662226.1 m ³
Dolgu Hacmi	1157751.9 m ³
Kazı Alanı	93360.1 m ²
Dolgu Alanı	51954.9 m ²
Bölge Alanı	145315.1 m ²

Tablo 5. İHA görüntülerinden elde edilen hâlihazır Netcad kazı dolgu hesabı

Hacim Raporu	Değer
Kazı Hacmi	661102.7 m ³
Dolgu Hacmi	1160391.2 m ³
Kazı Alanı	93286.0 m ²
Dolgu Alanı	52029.1 m ²
Bölge Alanı	145315.1 m ²

Tablo 6. 1250 kotu baz alınarak hesaplatılan kazı dolgu hacimleri

	1/1000'lik Hâlihazır	Modelden Üretilen Hâlihazır	Fark	Yüzde
Kazı Hacmi	660226.1 m ³	661102.7 m ³	1076.6 m ³	0.998
Dolgu Hacmi	1157751.9 m ³	1160391.2 m ³	2639.3 m ³	0.997
Kazı Alanı	93360.1 m ²	93286.0 m ²	74.1 m ²	
Dolgu Alanı	51954.9 m ²	52029.1 m ²	74.2 m ²	
Bölge Alanı	145315.1 m ²	145315.1 m ²		
Dolgu - Kazı Hacmi	497525.8 m ³	499288.5 m ³	1562.7 m ³	0.996

Çalışmada kullanılan hesap yöntemi daha önce yapılan benzer bir çalışma (Yakar vd., 2009; Kaya vd., 2019) baz alınarak yapılmıştır.

3. SONUÇLAR

İHA'ların kullanılması ile az maliyetle kısa sürede çok yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Bu çalışmada İHA kullanılarak elde edilen ortofoto haritaların üretiminde kullanılan YKN'lerin konum doğruluğuna etkisi irdelenmiştir. Değerlendirmeler sonucunda YKN sayısının artması konum hassasiyetini artırdığı görülmüştür. Bu yöntem ile üretilen hâlihazır haritalar gerekli hassasiyeti sağladığı görülmektedir. Konum doğruluğundaki hassasiyetin yanı sıra hacim doğruluğu da irdelenmiştir. Karşılaştırma da hem fotogrametrik olarak üretilen hâlihazır haritada hem de İHA aracılığıyla ürettiğimiz hâlihazır harita üzerinde 20 m aralıklarla en kesitler üretilerek brükner diyagramı oluşturulmuş ve 1453.15 m'lik güzergâh uzunluğunda 1239.517 m³'lük fark çıkmıştır. Bu güzergâh da 100 m genişliğinde koridor oluşturularak 1250 taban kotuna göre kazı ve dolgu hacim hesabı yapılmıştır. Kazı ve dolgu hacimlerinin %99 doğrulukla uyum sağladığı görülmüştür. Bu çalışma göstermiştir ki; şeritvari haritaların İHA ile üretilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca nokta konum doğruluğunun araştırılması için oluşturulan grid ağında yapılan karşılaştırmada elde edilen doğruluk yaklaşık 6 cm civarındadır. Bu doğruluk Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliğinde belirtilen tecviz sınırları içerisinde kalmaktadır. İHA'larla yapılacak harita üretiminde; Kullanılan İHA'nın ve kameranın teknik özellikleri, uçuş yüksekliği, bindirme oranları, değerlendirme de kullanılan YKN'nın sayısı ve dağılımına göre hesaplanacak nokta konum doğrulukları değişebilir

KAYNAKÇA

- Bügler M, Ogunmakin G, Teizer J, Vela P A & Borrmann A (2014). A comprehensive methodology for vision-based progress and activity estimation of excavation processes for productivity assessment, In Proceedings of the 21 st International Workshop. Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), Cardiff, Wales.
- Erdoğan A (2016). Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi. *Doktora Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kabadayı A & Uysal M (2019). İnsansız Hava Aracı ile Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1 (1), 8-14.
- Kaya, Y & Polat, N. Investigation of phenological stages of wheat plant using vegetation index. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 24-28.
- 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.
- Tao C Vincent, Yong Hu & W Jiang (2004). Photogrammetric exploitation of IKONOS imagery for mapping applications, *International Journal of Remote Sensing*, 25 (14), 2833-2853.
- 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 Kilisenin 3b Modelinin ve Nokta Bulutunun Elde Edilmesi. *Geomatik*, 5 (1), 19-26.
- Ulvi A, Yiğit A Y & Yakar M (2019). Modeling of Historical Fountains by Using Close-Range Photogrammetric Techniques. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1 (1), 1-6.
- Uysal M, Toprak A S & Polat N (2013). Afyon Gedik Ahmet Paşa (İmaret) Camisinin Fotogrametrik Yöntemle Üç Boyutlu Modellenmesi, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu -TUFUAB'2013.
- Yakar M, Kabadayı A, Yiğit A Y, Çıkkıncı K, Kaya Y & Catin S S (2016). Emir Saltuk Kümbeti Fotogrametrik Rölöve Çalışması ve 3Boyutlu Modellenmesi. *Geomatik*, 1 (1), 14-18.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M. ve Mutluoğlu, Ö., (2009), Hacim Hesaplamalarında Laser Tarama Ve Yersel

Fotogrametrinin Kullanılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.

Yiğit A Y & Kaya Y (2020). Sentinel-2A uydu verileri kullanılarak sel alanlarının incelenmesi: Düzce örneği. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi*, 2 (1), 1-9.

Yiğit A Y & Uysal M (2019). Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı Kullanılarak Yolların Tespiti. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 17-24.

Yiğit A Y & Uysal M (2020). Automatic Road Detection from Orthophoto Images. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 10-17.

Yiğit A Y, Kaya Y & Kabadayı A (2020). Comparison of Documenting Cultural Artifacts with the 3D Model in Different Software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.

URL-1. <https://www.dji.com/phantom-3-pro>



© Author(s) 2020.

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