



## İNSANSIZ HAVA ARACI KULLANILARAK ANTİK KENT VE TARİHİ KERVAN YOLUNUN FOTOGRAMETRİK BELGELENMESİ: SARIHACILAR ÖRNEĞİ

Emre TERCAN\*

Karayolları Genel Müdürlüğü, 13.Bölge Müdürlüğü, Etüt Proje ve Çevre Başmühendisliği, Antalya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*İnsansız hava aracı,  
Fotogrametri,  
Kültürel miras,  
Antik kent,  
Kervan yolu.*

### Özet

Kültürel mirasın incelenmesi, yorumlanması ve yönetilmesi için kültürel ve arkeolojik mirasın gerçeğe uygun ve doğru bir tasvirine sahip olmak gerekmektedir. Malzeme kullanımındaki özen ve işçilikleriyle, taş malzeme ile yapılan ve dünya medeniyetlerinin izlerini taşıyan antik yolların ve kentlerin belgelenmesi ve korunması önemlidir. Düşük maliyetle yüksek doğrulukta 3B veri ve ortofoto görüntü üretmesi sebebiyle insansız hava araçları (İHA) kültürel miras alanlarını ölçmek için ciddi avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada, sivil standartlara uygun GNSS-IMU ve otopilot destekli bir İHA kullanılarak Osmanlı İmparatorluğu dönemine ait bir antik kent ve kervan yolunun 80 metre uçuş yüksekliğinde bindirmeli olarak 731 adet yüksek çözünürlüklü görüntüsü üretilmiştir. Elde edilen görüntüler, SFM (Hareketten Şekillendirme) algoritması ile işlenmiş, sit alanının 2.1 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ve 8.4 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretilmiştir. İHA sisteminin doğruluğu geleneksel yersel yöntem ile test edilmiş, aplikasyon yapılarak belirlenen aynı ölçüm noktalarında iki yöntem arasında yaklaşık 0.4-4.3 cm aralığında kot farkı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, antik kentler ve kervan yollarının belgelenmesinde, İHA fotogrametri sistemlerinin detaylı ve hassas 3B veri elde etmek için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

## PHOTOGRAMMETRIC DOCUMENTATION OF ANCIENT CITY AND HISTORICAL CARAVAN ROAD BY USING UNMANNED AIR VEHICLE: SARIHACILAR EXAMPLE

### Keywords

*Unmanned aerial vehicle,  
Photogrammetry,  
Cultural heritage,  
Ancient city,  
Caravan road.*

### Abstract

It is necessary to have a proper and accurate depiction of the cultural and archaeological heritage in order to examine, interpret and manage cultural heritage. It is important to document and protect the ancient roads and cities built with stone materials and bearing the traces of world civilizations, which were built with care and workmanship in the use of materials. Unmanned aerial vehicles (UAVs) offer significant advantages to survey areas of cultural heritage because they produce 3D data and orthophoto images with high accuracy at low cost. In this study, at a flight height of 80 meters, 731 piece high-resolution overlapping images of an ancient city and a caravan road belonging to the Ottoman Empire period were obtained by using an UAV, which is appropriate for GNSS-IMU civil standards, and an autopilot assisted. Obtained images were processed with SFM (Structure from motion) algorithm, and 2.1 cm spatial resolution orthophoto image and 8.4 cm resolution digital elevation model of the site were produced. The accuracy of the UAV system was tested with the conventional terrestrial method, and at the same measurement points determined by application, the height difference between the two methods was found in the range of 0.4-4.3 cm. The results obtained show that the UAV photogrammetry systems are suitable methods for obtaining detailed and accurate 3D data in the documentation of ancient cities and caravan roads.

### Alıntı / Cite

Tercan E. (2017). İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelenmesi: Sarıhacılar Örneği, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 633 – 642.

\* İletişim yazarı / Corresponding author: emre\_tercan@hotmail.com, +90 242 320 70 00

## Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

E. Tercan – 0000-0001-6309-1083

<b>Başvuru Tarihi /Submission Date</b>	22.05.2017
<b>Revizyon Tarihi/ Revision Date</b>	23.10.2017
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	01.12.2017
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.12.2017

### 1. Giriş

Kültürel ve arkeolojik mirasın gerçeğe yakın bir tasvirine sahip olunması kültürel mirasın yönetimi için önemlidir. Arkeolojik ve tarihi öneme sahip alanların kültürel, sanatsal ve toplumsal unsurları içermesi bu alanların korunmasını zorunluluk haline getirmektedir. Bu tür alanların belgelenmesi, korunması ve turizme kazandırılması önemlidir.

Arkeolojik nitelik taşıyan alanlar içerisinde yer alan ve günümüze kadar ulaşan antik yollar, kültürel miras açısından büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde genel olarak modern ve teknik ekipmanlarla elde edilen kilit parke, sathı kaplama, bitümlü sıcak karışım ve beton yollar yapılmaktadır. Bu sebeple, dünya medeniyetlerinin izlerini taşıyan, tasarımlarıyla, malzeme kullanımındaki özen ve işçilikleriyle taş malzeme ile yapılan antik yolların korunması gereklidir.

Türkiye’de idari ve teknik yönetimlerinden kaynaklı sebeplere bağlı olarak kültürel ve arkeolojik alanlara yeterince yatırım yapılmaması, zamana bağlı olarak bu alanlarda meydana gelen deformasyonlar tarihi, kültürel ve arkeolojik mirasın gün geçtikçe yok olmasına sebep olmaktadır. Türkiye’de arkeolojik alanların sınırları ve detaylarına ilişkin fotogrametrik olarak belgelenmiş verilere genellikle rastlanamamaktadır. Arkeolojik ve kültürel miras alanlarının belgelenmesinde, GNSS ve total station gibi ölçüm ekipmanlarının kullanıldığı yersel yöntemler ya da klasik fotogrametri yöntemleri kullanılmaktadır. Yersel yöntemler, arazi şartlarından olumsuz etkilenerek zaman kaybına ve yüksek maliyete sebep olmakta ve arazi üzerinde detay ölçümleri esnasında arkeolojik alanlara da zarar vermektedir. Klasik fotogrametrik yöntemler küçük ve orta ölçekli arkeolojik alanlar için zaman ve maliyet açısından olumsuzluk getirmektedir.

Arkeolojik çalışmalarda, belirli bir mesafede arkeolojik ve kültürel miras alanlarının yeterli doğruluğunu sağlayabilen ve hızlı bir şekilde elde edilebilen görüntülere sıklıkla gereksinim duyulmaktadır (Themistocleous vd., 2015). Bilgisayarlı görme ve yakın mesafe fotogrametrisi, sahnelerin, nesnelerin ve arkeolojik alanlar gibi karmaşık alanların modellenmesi için bir devrim yaratmıştır. Çünkü bu yöntemler, İHA sistemleri gibi hafif hava platformları ile kullanım olanağı bulmaktadır. Drone olarak da bilinen İHA sistemleri geçmişte genellikle askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. Sensörlerin boyutu ve yüksek maliyetinden dolayı sivil ve ticari uygulamalar için

kullanım imkânı bulamayan İHA sistemleri genellikle uzaktan kontrollü uçaklar ya da helikopterlerdir (Siebert ve Teizer, 2015). GPS alıcıları, mikro işlemciler, jiroskoplar, kamera sistemleri, küçük ölçekli sensör ve elektronik iletişim araçlarının maliyetlerinin düşmesi sebebiyle İHA sistemleri, çok sayıda kullanıcı için zaman ve maliyet açısından avantajlar sunmaktadır. İHA sistemleri ile yüksek konumsal çözünürlüğe sahip 3B veri elde edilmektedir (Karkinli vd., 2015). Bu sebeple arkeolojik alanları ölçmek için kullanım kolaylığı sağlamasına, yüksek doğrulukta 3B veri ve ortofoto görüntü elde edebilmesine bağlı olarak insansız hava araçlarının kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Literatürde, tarımsal uygulamalar ve çevresel kirlilik tespiti (Gomes vd., 2016; Messinger ve Silman, 2016), trafik gözetleme ve yönetimi (Wang vd., 2016), sayısal harita üretimi ve yol mühendisliği (Eisenbeiss, 2009; Remondino vd., 2011; Zhang ve Elaksher, 2011; Siebert ve Teizer, 2015; Vilariño vd., 2016) gibi farklı disiplinlerde İHA fotogrametrisi kullanılarak çok sayıda araştırma yürütülmüştür. İHA sistemleri kullanılarak kültürel ve arkeolojik alanların belgelenmesi, analiz edilmesi, arkeolojik alanlardaki değişimlerin izlenmesi ve yer altı arkeolojik kalıntılarının tespit edilmesi gibi arkeoloji disiplininde çok sayıda çalışma yürütülmüştür (Eisenbeiss vd., 2005; Lambers vd., 2007; Lahoz ve Aguilera, 2009; Hendrickx vd., 2011; Chiabrando vd., 2011; Hernandez vd., 2015; Themistocleous vd., 2015; Dubbini vd., 2016; Jorayev vd., 2016; Lozano ve Alonso, 2016; Nikolakopoulos vd., 2016; Stek, 2016). Eisenbeiss vd. (2005) GNSS/INS ve yer kontrol istasyonu ile donatılmış bir sivil helikopter kullanarak eski İspanyol dönemine ait Pinchango Alto arkeolojik alanını fotogrametrik olarak belgelemişlerdir. Hendrickx vd. (2011) Rusya Altay Dağları’nda Tuekta höyük alanlarını bir mikrodrone kullanarak belgelemişlerdir. Chiabrando vd. (2011) sabit kanatlı uçak ile İtalya’nın Piyemonte Bölgesinde Roma dönemine ait arkeolojik alanlardan Augusta Bagiennorum’daki amfitiyatro gibi kalıntıları ve bir mini helikopter ile Fontana D’Ercole’deki Reggia di Venaria Kalesi’nin de bulunduğu kalıntıları fotogrametrik olarak belgelemişler ve iki sistemi karşılaştırmışlardır. İHA sisteminin arkeolojik alanları belgelemek için yeterli doğruluk sağladığını ve klasik fotogrametri yöntemlerine ciddi bir alternatif olduğunu göstermişlerdir. Themistocleous vd. (2015) otopilot destekli, kamera ve GNSS alıcısı ile donatılmış paraşüt ile iniş yapabilen bir İHA sistemi kullanarak SFM algoritması ile Kıbrıs Cumhuriyeti’nde Roma Yunanistanı dönemine ait Kourion antik kentinin sayısal yüzey modelini ve

ortofotosunu üretmişlerdir. Hernández vd. (2015) kamera ve GNSS-RTK ile donatılmış bir mikrodronu kullanarak yer kontrol noktaları tesis edilerek İspanya'nın Avila vilayetinde geçmiş tunç ve demir devrine dayanan Las Cogotas arkeolojik sit alanının ASIFT (Affine Scale-Invariant Feature Transform) algoritması ile sayısal yüzey modelini ve ortofotolarını üretmişlerdir. Dubbini vd. (2016) bir insansız hava aracı kullanarak elde edilen görüntüleri SFM algoritması ile işleyerek, Hırvatistan Dalmatia tarihi bölgesinde, Roma Dönemine ait askeri kamp alanı ve yerleşimindeki arkeolojik kalıntıların sayısal yüzey modelini üretmişler ve RTK-GNSS ölçümleri aracılığıyla üretilen yüzeyi karşılaştırmışlardır. Ağaçların, çalıkların ve yüksek otların olmadığı bu arkeolojik sit alanında elde edilen test sonuçları yaklaşık 10 cm düşey doğruluk sağlamaktadır. Jorayev vd. (2016) en önemli paleantropolojik alanlardan biri olan Tanzanya'daki Olduvai Gorge'un İHA sistemleri ile 4-5 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsünü ve 3B modelini üretmişlerdir. 30 metre çözünürlüklü mevcut Aster uydu görüntüsü ile İHA sistemi ile elde edilen modeller erozyona bağlı toplam tortu kaybı hesaplanması için karşılaştırılmıştır. Bu sebeple belirli kesitlerde iki yüzey, profil bazında karşılaştırılmış, hacimsel olarak ortalama %34 farklılık tespit edilmiştir. İHA sisteminden elde edilen 3B verilerden CBS aracılığıyla morfometrik analizler (yükseklik, eğim, hacim, yüzey pürüzlülüğü, drenaj yoğunluğu gibi) gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, arkeolojide kartografik, jeolojik ve mekânsal analiz araştırmaları ve CBS çalışmaları için yüksek çözünürlüklü İHA fotogrametrisinin potansiyelini göstermektedir. Lozano ve Alonso (2016) İspanya'nın kuzeybatısında yer alan Eria Vadisi olarak bilinen antik Roma Dönemi'ne ait altın madeni alanlarının belirlenmesi, tanımlanması ve yorumlanması için LİDAR sistemi ve İHA fotogrametrisine dayalı bütünleşik geomatik uygulamaların kullanımını araştırmışlar ve iki yöntemden elde edilen sayısal yükseklik modelini karşılaştırmışlardır. Arkeolojik detayların belirlenmesi ve modellerin görselleştirilmesini geliştirmek amacıyla sayısal yükseklik modelleri temel bileşen analizi, çoklu gölge rölyefi, hava görüş katsayısı gibi farklı görselleştirme araçları kullanılarak analiz edilmiştir. 5 m çözünürlüklü LİDAR verileri hidrolik sistemlerin hassas olarak belirlenmesi ve ayrıntılı analizini gerçekleştirmek için yetersiz çözünürlük sağlamıştır ancak görselleştirme araçlarının kullanımı kalıntıların tanımlanması ve tespit edilmesini geliştirmiştir. 1 m çözünürlüklü LİDAR verileri maden alanları, su kaynakları, kanalların yorumlanması ve tanımlanması için son derece yüksek çözünürlük ve yetenekler sunmuştur. İlave olarak daha az ayrıntılı ölçümler için maliyetleri ve zaman alıcı süreçleri azaltmak için İHA teknolojilerinin kullanımını güçlü bir kapasite göstermiştir. Nikolakopoulos vd. (2016) Yunanistan Patras sınırlarında Stavros arkeolojik sit alanında klasik topografik ölçümler (Diferensiyel GNSS

sistemi ve takimetri) ile İHA fotogrametrik sistemlerini karşılaştırarak İHA sistemlerinin arkeolojik alanların sayısal yüzey modellerinin ve ortofoto görüntülerini elde edilmesinde yüksek doğruluk gösterdiğini belgelemişlerdir.

Literatürdeki çalışmalar genellikle amfiteyatro, kale, antik kent yerleşimleri, höyükler ve madenler gibi kültürel ve arkeolojik alanların İHA fotogrametrisi ile belgenmesi ve analizine odaklanmıştır. Bu çalışmada, antik kent yerleşimi, sarnıçlar ve literatürden farklı olarak antik yolların belgenmesi gerçekleştirilmiş ve İHA fotogrametrisi yersel yöntem ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada amaç; arkeolojik sit alanlarında İHA sistemi ile üretilen 3B verinin doğruluğunun yersel yöntemle karşılaştırılması ve kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. İHA sistemi ile ortofoto görüntü, sayısal yükseklik ve arazi modelinin yüksek doğruluk ve hassasiyette üretilmesi, gelecekte yapılacak çalışmalara önemli bir zemin oluşturacaktır.

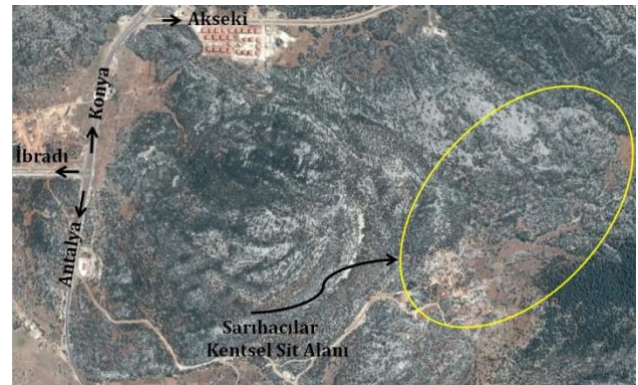
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı; Antalya İli, Akseki ilçesi Sarıhacılar Köyü arasındaki kervan yolu ve Sarıhacılar kentsel sit alanıdır (Şekil 1-2).



Şekil 1. Çalışma Alanı (Sarıhacılar, 2015)



Şekil 2. Akseki-Sarıhacılar Koruma Alanı

Akseki İlçesi sınırlarında pek çok yerde farklı güzergâhlara ait tarihi yol izleri korunabilmiştir. Bu durum yoğun bir yol ağının varlığının göstergesidir. Akseki merkezden Sarıhacılar istikametine giden yaklaşık 3 km uzunluğundaki döşeme yol, bu ağın yalnızca bir kesimini oluşturmaktadır. Bu yolun hangi tarihte yapıldığına dair kesin bir veri yoktur. Yolu tarihleyebilmek ve güzergâhın önemini tespit edebilmek için yolun mimari dokusunun (teknik özellikler, yol genişliği vs.) bölgedeki diğer yollarla karşılaştırılması gerekmektedir (Adak, 2016).

Bölgenin bazı yerlerinde Roma Dönemi'ne ait taş yollar korunabilmesine rağmen bunların hiçbirisi Akseki merkez yerleşimine uğramamaktadır. Bunun sebebi de Akseki'nin Marula adı altında Ortaçağ'da kurulmuş olmasıdır. Roma Dönemi yollarının teknik açıdan daha farklı bir görünüm sergilemeleri (Şekil 3), Akseki-Sarıhacılar güzergâhının İlkçağ'da inşa edilmediğinin net bir göstergesidir. Taş döşemenin görece iyi korunmuş izlerini Avlu Beli ile Cendeve arasında yer yer takip etmek, bazen de büyük taşlarla örülmüş Roma yolu ile daha ufak döşemeye sahip Ortaçağ yolunu yan yana görebilmek mümkündür (Şekil 3,4) (Adak, 2016).



Şekil 3. Avlu Beli-Cendeve arasında Roma Yolu (Adak, 2016)



Şekil 4. Avlu Beli-Cendeve arasında Osmanlı Yolu (Adak, 2016)

Bizans Dönemi'nde İlkçağ'dan kalan yol ağı büyük ölçüde kullanılmaya devam etmiştir. Konya'yı başkent yapan ve 13. Yy.ın ilk çeyreğinde Antalya ve Alanya'yı fetheden Selçuklular bu iki önemli merkezi, yollar ve bu yolların üzerinde yapılan hanlar aracılığıyla başkente bağlamışlardır. Akseki bölgesinde Selçuklu Dönemi'ne ait hanların bulunmaması; Antalya'dan kuzeye ilerleyen Selçuklu ana yollarının Akseki'den geçmediklerine işaret etmektedir (Adak, 2016).

Akseki ilçe sınırları içerisinde Selçuklu Dönemine ait hanların tespit edilmemiş olması, bu bölgeden geçen yolların önemli olmadığını akla getirmektedir. Bölgede bilinen beş hanın (Beş han, Çivi Derbendi Hanı, Zumanahanı, Bademli Hanı, Nodar Han) hepsi Osmanlı Döneminde inşa edilmiştir. Bu hanlar dikkate alındığında hangi güzergâhların Osmanlı döneminde önemli olduğu anlaşılacaktır. Üzerinde hanların yer aldığı bu ana güzergâhların dışında Osmanlı Dönemi'nde birçok yerel yol inşa edilmiştir. Akseki - Sarıhacılar arasındaki döşeme yol da bu bağlamda değerlendirilmelidir. Bu yolların bir kısmının çıkış noktası Akseki merkez yerleşimidir. Teknik özellikleriyle 1-2 m genişliğinde geniş duvarlarla desteklenmiş olan bu döşeme yollar (Şekil 5-7) Akseki'den Sarıhacılar'a ilerleyen yol (Şekil 8) ile büyük benzerlik göstermektedir. Akseki'den güneye Sarıhacılar'a ilerleyen yol; Akseki'yi güneye bağlayan yol ağının sadece bir bölümü olarak düşünülmelidir. Bu yolun bir hattının Sarıhacılar'dan sonra Belenalan ve Bucakalan yönüne ilerlediği mevcut yol izlerinden anlaşılmaktadır. Bu döşeme yolların Osmanlı Dönemi'nde inşa edildiği düşünülmektedir. Yolların hiç birinde tekerlekli vasıta işlememekte, taşımacılık genelde deve ve başka yük hayvanları ile yapılmaktaydı (Adak, 2016).



Şekil 5. Akseki'den kuzeye Osmanlı Yolu (Adak, 2016)



Şekil 6. Sadıklar-Güzelsu Arası Osmanlı Yolu (Adak, 2016)



Şekil 7. Alaçesme Köyü içinde Osmanlı Yolu (Adak, 2016)



Şekil 8. Akseki-Sarıhacılar Osmanlı Yolu (Adak, 2016)

Çalışma koridoru olan Akseki'den Sarıhacılar'a uzanan yol (Şekil 8) homojen bir yapıya sahiptir. Yol küçük döşeme taşlarla kaplanmış, çoğu yerde basamaklı inşa edilmiş; genişliği 1.0-2.0 m arasında değişen yolun kenarlarına 10-30 cm yüksekliğinde bordürler yerleştirilmiştir. Bu yolda tadilat izlerinin görülmemesi, yolun daha eskilere dayanan bir tarihi olmadığını düşündürmektedir. Akseki - Sarıhacılar yolunun yukarıda değinilen (Şekil 4-7) diğer yerel yollarla aynı teknik özellikleri barındırması, yolun

oldukça geç bir dönemde inşa edildiğini göstermektedir. Bu yolların çoğunlukla Akseki'ye bağlı köyleri birbirine bağladığı dikkat çekicidir. Bu yoğun yol ağı büyük olasılıkla Osmanlı Dönemi'nde köyleri birbirine bağlamak için yerel halk tarafından inşa edilmiştir. Bu yerel yol ağı belli noktalarda ana güzergâhlara bağlanmaktaydı. Akseki köylerinin çoğuna böyle döşeme yolların inşa edildiğine dair Alaçesme köy çıkışında hala kısmen korunmuş ve Akseki - Sarıhacılar yoluna tipolojik açıdan benzeyen döşeme yol da önemli bir ipucu sunmaktadır (Şekil 7) (Adak, 2016).

## 2.2. Ölçme Ekipmanları

Sayısal yükseklik modeli ve ortofoto görüntünün üretiminde kullanılacak görüntülerin elde edilmesinde Mavinci Sirius Pro marka otonom insansız hava aracı kullanılmıştır (Şekil 9). Mavinci Sirius Pro, 120 cm uzunluğunda, kamera ile ağırlığı 2.7 kg, 163 cm kanat açıklıklı, maksimum 50 dakika uçuş yapabilen, 65 km/sa karakteristik düz uçuş süratine sahip, elapor köpükten yapılmış GNSS-IMU ve otopilot destekli bir insansız hava aracı sistemidir. Bu sistemde, GNSS alıcısının RTK (gerçek zamanlı kinematik) ölçüm doğruluğu yatayda 10 mm+1.0 ppm, düşeyde 15 mm+1.0 ppm'dir. Görüntülerin çekilmesi ve kaydedilmesi amacıyla 16 mp çözünürlüklü, APS-C CMOS sensörlü, XF 18 mm f/2 R lense sahip Fuji X-M1 marka kamera kullanılmıştır (Şekil 10) (Mavinci, 2017).



Şekil 9. Mavinci Sirius Pro İHA sistemi (Mavinci, 2017).



Şekil 10. Fuji X-M1 Kamera (Mavinci, 2017).

Yer kontrol noktalarının konumlarının belirlenmesi ve İHA fotogrametri yönteminin doğruluğunu test etmek için kullanılan yersel yöntem ile ölçüm çalışmalarında RTK ölçüm doğruluğu yatayda 10

mm+1.0 ppm, düşeyde 15 mm+1.0 ppm olan Topcon Hyper V GNSS cihazı, yer kontrol noktalarının yüksekliklerinin belirlenmesi için geometrik nivelman ölçümlerinde 0.2 mm ölçüm hassasiyetli Topcon DL-500 elektronik dijital nivo kullanılmıştır.

## 2.3. Yöntem

### 2.3.1. Uçuş Planlaması ve Veri Setinin Toplanması

Kamera özellikleri, uçuş yüksekliği, uçuş hızı ve bindirme oranları gibi bilgilerin tanımlandığı fotogrametrik uçuş planlaması ve simülasyon işlemleri Mavinci Desktop yazılımı ile yapılmıştır. Uçuş yüksekliği 80 metre, boyuna bindirme oranı %85, enine bindirme oranı %65 olarak belirlenmiştir. Uçuş süresince arkeolojik sit alanının 731 adet yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilmiştir.

Blok dengeleme işleminin yapılması sürecinde ve yersel detay alım çalışmalarında kullanılmak üzere yer kontrol noktaları çalışma alanına dağıtılmıştır. Uçuş bölgesinde coğrafi konumlandırma ve doğruluk kontrolü için 8 adet yer kontrol noktası tesis edilmiştir. Yer kontrol noktalarının konumları, Topcon Hyper V GNSS cihazıyla Cors-RTK yöntemiyle, yükseklikleri Topcon DL-500 elektronik dijital nivo cihazıyla geometrik nivelman yöntemiyle belirlenmiştir. Yer kontrol noktalarının (ITRF 96 datumu-3 derece) koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yer Kontrol Noktalarının Koordinatları

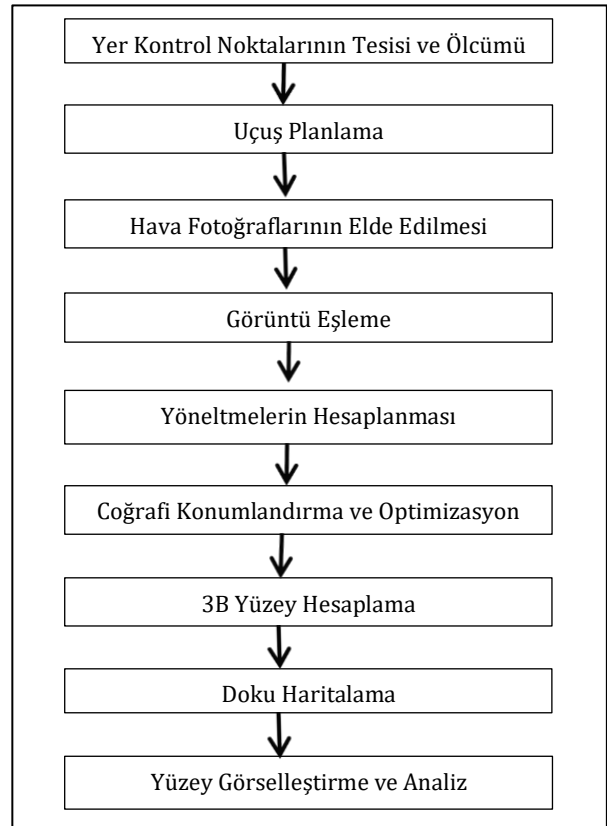
Nokta No	Konum Değerleri		Ortometrik Yükseklik
	Epok: 2005 Datum: ITRF 96 Elipsoid: GRS 1980		
	y	x	H
P.1	657706.30	4099805.22	1121.79
P.2	657861.99	4099974.81	1124.93
P.3	658086.65	4100244.59	1140.94
P.4	658156.43	4100154.80	1128.90
P.5	658574.67	4100370.75	1146.56
P.6	658458.69	4100455.17	1139.83
P.7	658510.86	4100677.38	1150.86
P.8	658397.71	4100780.08	1134.32

### 2.3.2. Fotogrametrik Veri İşleme

Fotogrametrik yöntemler 3 boyutlu verinin geriçatımı (reconstruction) için iki boyutlu görüntü dizilerinden yararlanmakta, kamera kalibrasyon elemanları olan iç yönelme (odak uzaklığı, ana nokta konumu, distorsiyon) elemanlarına ve dış (kamera konum ve yönelme) yönelme elemanlarına gereksinim duymaktadır (Beşdok ve Kasap, 2006).

Görüntülerin işlenmesinde kullanılan SFM yöntemi, 3 boyutlu geriçatım (reconstruction) için gerekli kamera kalibrasyon parametrelerini bilgisayarlı görme disipliniinde geliştirilen algoritmalar aracılığıyla doğrudan birbiri ile bindirilen

görüntülerden hesaplamaktadır. Analiz edilmek istenen sahnenin 3 boyutlu geometrisi, görüntü kayıt anındaki bakış açılarından yararlanılarak en az iki resimde bulunan eşlenen detay noktalarıyla trigonometrik olarak çözülmektedir (Karkinli vd., 2015; Besl ve Mckay, 1992). Bu işlem sonucunda lokal bir koordinat sisteminde eşleştirilebilen nokta sayısınınca 3 boyutlu nokta bulutu üretilmektedir. Yer kontrol noktalarının eklenmesi ile bu nokta bulutu coğrafi konumlandırılmakta ve optimize edilerek doğruluğu artırılmaktadır. Optimizasyon işlemi için genellikle ışın demetleri ile blok dengeleme yöntemi tercih edilmektedir. Nokta bulutuna bağlı olarak sayısal yükseklik modeli ve 3 boyutlu ağ modeli oluşturulmakta ve oluşturulan ağ modeli ile ortofoto üretimi gerçekleştirilmektedir. İHA fotogrametri yöntemine ait temel işlem adımları Şekil 11'de verilmiştir.



**Şekil 11.** İHA Fotogrametrisi Temel İşlem Adımları

Bu çalışmada, İHA sistemi ile alınan görüntülerin işlenmesi, SFM algoritmasını kullanan, Rus üretici Agisoft LLC tarafından geliştirilen PhotoScan Professional (Versiyon 1.2.6) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PhotoScan ile görüntülerin işlenmesi sürecinde İHA ile elde edilen fotoğraflar yazılıma yüklenmekte ve fotoğraflarda düzeltme yapılmaktadır. Fotoğrafların düzeltildiği bu aşamada PhotoScan her bir resim için kamera konum ve yönelmelerini hesaplamakta ve nokta bulutu modelini üretmektedir. Yoğun nokta bulutu üretiminden sonra 3B poligonal model (mesh) üretimi ve doku haritalama (texture) gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak renklendirilmiş

nokta bulutu, sayısal yükseklik modeli ya da bir ortofoto üretilmektedir (Agisoft, 2017).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Agisoft PhotoScan yazılımında, coğrafi konumlandırma ve blok dengeleme sonucunda GNSS cihazı ile CORS-RTK yöntemiyle ölçülmüş yer kontrol noktalarındaki hata miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yer Kontrol Noktalarında Gerçekleşen Hatalar

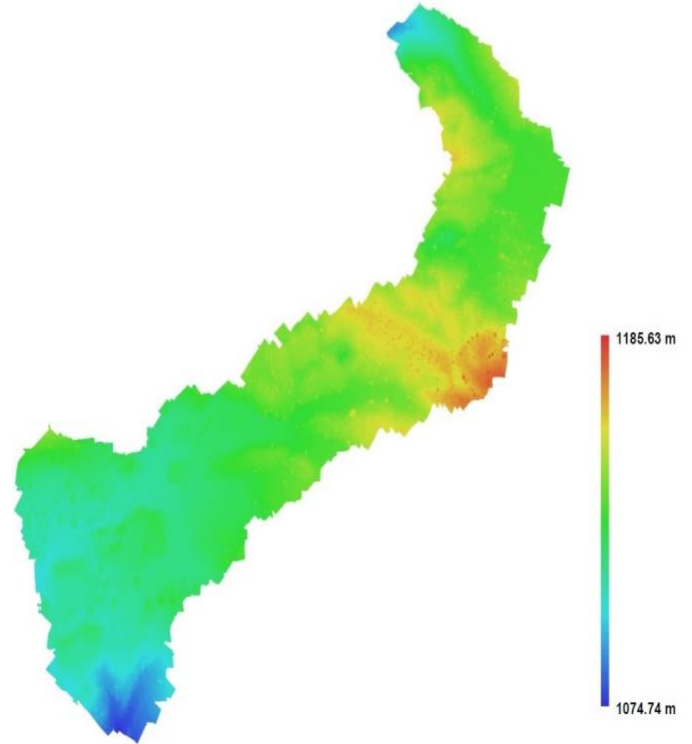
Nokta No	Hata Miktarı (m)			
	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta z$	$\Delta yxz$
P.1	0.0281	-0.0154	0.0017	0.0321
P.2	0.0165	-0.0257	0.0356	0.0470
P.3	-0.0236	0.0315	0.0019	0.0395
P.4	-0.0172	0.0336	-0.0263	0.0460
P.5	0.0426	0.0403	-0.0056	0.0590
P.6	0.0340	-0.0193	0.0142	0.0416
P.7	-0.0193	0.0258	-0.0215	0.0387
P.8	0.0210	-0.0149	0.0137	0.0292
RMS(m)	0.1522	0.2716	0.0189	0.3120

Fotogrametrik yer kontrol noktalarının dağılımının genellikle uniform olarak araziye uygulanması mümkün değildir. Değerlendirme noktalarının yer kontrol noktalarından uzaklığı sonuç doğruluğunu etkilemektedir. Uçuş yüksekliğindeki farklılıklar, yer kontrol noktalarının sayısı ve arazideki dağılımı, değerlendirilen noktanın bu noktalara olan mesafesi, görüntü koordinatlarının doğruluğu ve ölçü sayısı yer kontrol noktalarının ve diğer detay noktalarının doğruluğunu etkileyen faktörlerdir (Tercan, 2017).

Bu çalışmada, yer kontrol noktalarının, uçuşlar sonucunda elde edilen fotoğraflarda işaretlenmesiyle fotoğraf eşleme işlemi yapıldıktan sonra 62.031,613 adet renklendirilmiş 3B nokta bulutu üretilmiştir. Çalışma koridorunun 80 metre uçuş yüksekliğinde 2.1 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü (Şekil 12, Şekil 14) ve 8.4 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (Şekil 13) üretilmiştir.



**Şekil 12.** Ortofoto Görüntü ve Yer Kontrol Noktaları



**Şekil 13.** Sayısal Yükseklik Modeli



Şekil 14. Sarıhacılar Kentsel Sit Alanına ait Ortofoto Görüntü

Ortofoto üzerinden konumları alınan 35 adet noktanın arazide aplikasyonu yapılmıştır. Çalışma alanındaki arkeolojik nitelikli alanların yapısı dikkate alınarak kontrol yapılan kesimler belirlenmiştir. Bu sebeple özellikle kontrol ölçülerinde kayalık-taşlık, sarnıç üstleri gibi sert satırlı zeminlerin seçilmesine dikkat edilmiştir. Aplikasyon yapılarak belirlenen aynı ölçüm noktalarında, İHA fotogrametrisi ve yersel yöntem kot bazında karşılaştırılmıştır. Kontrol yapılan kesimlere ait kot farkları ortofoto görüntü üzerinde Şekil 15-18'de verilmiştir.

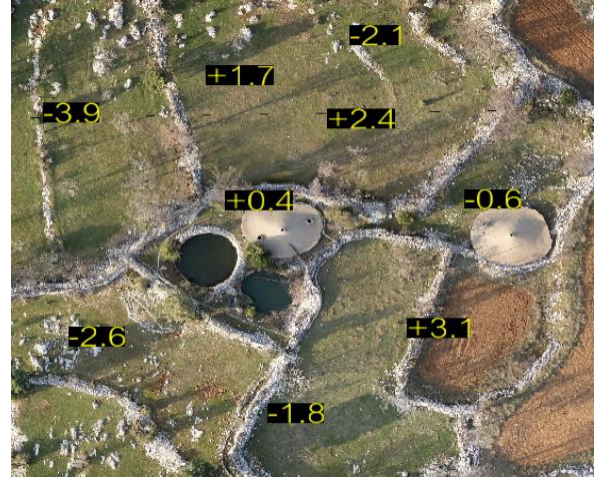
Aplikasyonu yapılan 35 adet kontrol noktasında 20 epok GNSS-RTK ölçü yöntemiyle ölçüm yapılmıştır. Yükseklik bilgisinde (z) oluşan karesel ortalama hata, aynı noktadaki İHA yönteminden elde edilen değerden GNSS-RTK ölçü yöntemiyle elde edilen değer düşülerek Denklem (1) ile hesaplanmıştır. Hesaplanan düşey doğruluk 2.4 cm olarak belirlenmiştir.

$$m_z = \sqrt{\frac{[\epsilon\epsilon]}{n}} \quad (1)$$

Şekil 15'te yer yüzeyinin toprak olduğu kesimlerde iki yüzey arasında 1.3-3.6 cm aralığında kot farkı belirlenmiştir. Şekil 16'da Sarıhacılar Köyü'nün kurulduğu tarihten itibaren içme suyu ihtiyacını karşılayan kültür varlığı niteliği taşıyan sarnıçlar üzerinde yapılan ölçümlerde iki yöntem arasında 0.4 ve 0.6 cm kot farkı belirlenmiştir.



Şekil 15. Kot Farkları (cm)



Şekil 16. Sarnıçlar ve Kot Farkları (cm)

Şekil 17 ve Şekil 18'de kervan yolu ve civarında taş döşemeler üzerinde yapılan ölçümlerde 0.7-4.3 cm aralığında kot farkı belirlenmiştir.



Şekil 17. Taş döşeme yol ve kot farkları (cm)





Şekil 18. Taş döşeme yol ve kot farkları (cm)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Arkeolojik nitelik taşıyan alanlar içerisinde yer alan, günümüze kadar ulaşan antik kentler ve antik yollar, kültürel miras açısından büyük bir öneme sahiptir. Düşük maliyetle yüksek doğrulukta 3B veri ve ortofoto görüntü üretmesi sebebiyle insansız hava araçları (İHA) arkeolojik alanları ölçmek için ciddi avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada, SFM algoritması kullanılarak İHA sistemi ile elde edilen görüntüler işlenmiş kentsel sit alanı ve kervan yolunun 2.1 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ve 8.4 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli üretilmiştir.

İHA sisteminin doğruluğu geleneksel yersel yöntem ile test edilmiş, çalışma alanında İHA yönteminin 2.4 cm düşey doğrulukla 3B veri üretilebileceği belirlenmiştir. Çalışma alanı dikkate alınarak elde edilen sonuçlar, sık ormanlık ve çalılık alanların olmadığı ve genellikle sert satırlı zeminlerin bulunduğu kentsel sit alanları ve kervan yollarının belgelenmesinde, İHA fotogrametri sistemlerinin detaylı, hassas ve 3B veri elde etmek için uygun bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada ele alınan, antik kent ve kervan yolunda İHA sistemi ile ortofoto görüntü, sayısal yükseklik modeli ve 3B verinin yüksek doğruluk ve hassasiyette üretilmesi, gelecekte yapılacak çalışmalara önemli bir zemin oluşturacaktır. Sonuçta oluşan 3B veri arkeolojlara antik ortama ilişkin önemli hipotezler ortaya koymaları için çok önemli destek sağlayacaktır.

Bu çalışma ile, dünya medeniyetlerinin izlerini taşıyan antik yol gibi tarihi ve arkeolojik alanların belgelenerek günümüze taşınmasına katkı sağlanmıştır. Antik bir yolun özgünlüğünü kaybetmeden restorasyonlarının yapılması da antik yollar üzerinde trekking aktivitelerini teşvik edecek ve o bölgenin turizmini geliştirecektir.

Bu çalışmanın, bireylere kentsel sit alanları ve kervan yollarının, taş yığınlarından meydana gelmediği ve birçok medeniyetin yaşadığı mimarlık ve kültür tarihi açısından (Uçkan ve Evcim, 2015) önemli alanlar oldukları bilincini aktaracak olması toplumsal anlamda bir katkı sağlayacaktır.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar

- Adak, M. 2016. Akseki-Sarıhacılar Arasındaki Döşeme Yol Hakkında Bir Rapor.
- Agisoft PhotoScan User Manual, 2017. [http://www.agisoft.com/pdf/photoscan\\_pro\\_1\\_3\\_en.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_pro_1_3_en.pdf) (Erişim Tarihi: 12.03.2017).
- Besl, P.J., McKay, N.D. 1992. A Method for Registration of 3D Shapes. IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, 14(2), 239-256.
- Beşdok, E., Kasap, B. 2006. 3D Nesne Modellemeye Yönelik Lazerli Bir Tarayıcı Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Eleco, Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı Bildirileri, 6-10 Aralık, Bursa, Türkiye.
- Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D., Rinaudo, F. 2011. UAV and RPV Systems for Photogrammetric Surveys in Archaeological Areas: Two Tests in the Piedmont Region (Italy). Journal of Archaeological Science, 38, 697-710.
- Dubbini, M., Curzio, L.I., Campedelli, A. 2016. Digital Elevation Models from Unmanned Aerial Vehicle Surveys for Archaeological Interpretation of Terrain Anomalies: Case Study of the Roman Castrum of Burnum (Croatia). Journal of Archaeological Science, 8, 121-134.
- Eisenbeiss, H. 2009. UAV Photogrammetry, Dissertation Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland.
- Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M., Zhang, L. 2005. Photogrammetric Documentation of An Archeological Site (Palpa, Peru) Using An Autonomous Model Helicopter. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(5), 238-243.
- Gomes, K.R., Lopez, D.H., Ballesteros, R., Moreno, M.A. 2016. Approximate Georeferencing and Automatic Blurred Image Detection to Reduce the Costs of UAV Use in Environmental and Agricultural Applications. Biosystems Engineering, 151, 308-327.

- Hendrickx, M., Gheyle, W., Bonne, J., Bourgeois, J., De Wulf, A., Goossens, R. 2011. The Use of Stereoscopic Images Taken from a Microdrone for the Documentation of Heritage - An Example from the Tuekta Burial Mounds in the Russian Altay. *Journal of Archaeological Science*, 38, 2968-2978.
- Hernandez, J.F., Aguilera, D.G., Gonzalves, P.R., Taboada, J.M. 2015. Image-Based Modelling From Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry: An Effective, Low-cost Tool for Archaeological Applications. *Archaeometry*, 57(1), 128-145.
- Jorayev, G., Wehr, K., Calvo, A.B., Njau, J., de la Torre, I. 2016. Imaging and Photogrammetry Models of Olduvai Gorge (Tanzania) by Unmanned Aerial Vehicles: A High-resolution Digital Database for Research and Conservation of Early Stone Age Sites. *Journal of Archaeological Science*, 75, 40-56.
- Karkinli, A.E., Kesikoğlu, A., Kesikoğlu, M.H., Atasever, Ü.H., Özkan, C., Beşdok, E. 2015. İnsansız Hava Araçları ile Sayısal Arazi Modeli Üretimi. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) VIII. Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Konya, Türkiye.
- Lahoz, G.J., Aguilera, G.D. 2009. Recovering Traditions in the Digital Era: The Use of Blimps for Modelling the Archaeological Cultural Heritage. *Journal of Archaeological Science*, 36(1), 100-109.
- Lambers, K., Eisenbeiss, H., Sauerbier, M., Kupferschmidt, D., Gaisecker, T., Sotoodeh, S., Hanusch, T. 2007. Combining Photogrammetry and Laser Scanning for the Recording and Modelling of the Late Intermediate Period Site of Pinchango Alto (Palpa, Peru). *Journal of Archaeological Science*, 34(10), 1702-1712.
- Lozano, J.F., Alonso, G.G. 2016. Improving Archaeological Prospection Using Localized UAVs Assisted Photogrammetry: An Example from The Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain). *Journal of Archaeological Science*, 5, 509-520.
- Mavinci, 2017. <http://www.mavinci.de/pro-version/> (Erişim Tarihi: 12.03.2017).
- Messinger, M., Silman, M. 2016. Unmanned Aerial Vehicles for the Assessment and Monitoring of Environmental Contamination: An Example from Coal Ash Spills. *Environmental Pollution*, 218, 889-894.
- Nikolakopoulos, K.G., Soura, K., Koukouvelas, I.K., Argyropoulos, N.G. 2016. UAV vs Classical Aerial Photogrammetry for Archaeological Studies. *Journal of Archaeological Science: Reports*.
- Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D. 2011. UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling-current Status and Future Perspectives. *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*, 14-16 Eylül, Zurich, İsviçre.
- Sarıkaya, M.A. 2015. Akseki ve Çevresinin Coğrafyası ve Jeolojisi. ss 46-65. Durak, A., Güzelyürek, C., ed. 2015. *Ben Akseki'yim, Elit Ofset Matbaacılık*, 600s.
- Siebert, S., Teizer, J. 2014. Mobile 3D Mapping for Surveying Earthwork Projects Using An Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System. *Automation in Construction*, 41, 1-14.
- Stek, T.D. 2016. Drones over Mediterranean Landscapes. The Potential of Small UAV's (Drones) for Site Detection and Heritage Management in Archaeological Survey Projects: A Case Study from Le Pianelle in the Tappino Valley, Molise (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 22, 1066-1071.
- Tercan, E. 2017. Karayolu Projelerinde İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Sayısal Arazi Modelinin Değerlendirilmesi: Bucak-Kocaeliler Yolu Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 8(2), 172-183.
- Themistocleous, K., Lysandrou, V., Cuca, B., Agapiou, A., Hadjimitsis, D.G. 2015. Exploring the Ancient Kourion City Site from the Air Using Unmanned Aerial Vehicles. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 4, 307-323
- Uçkan, Y.B., Evcim, S. 2015. Arkeolojik Alanlarda Lazer Ölçümle Belgeleme ve Kent Modeli Oluşturma Üzerine Bir Örnek: Olympos Antik Kenti. *Journal of Academic Social Sciences*, 16(16), 1-15.
- Vilariño, L.D., Jorge, G.H., Sánchez, M.J., Bueno, M., Arias, P., 2016. Determining the Limits of Unmanned Aerial Photogrammetry for the Evaluation of Road Runoff. *Measurement*, 85, 132-141.
- Wang, L., Chen, F., Yin, H. 2016. Detecting and Tracking Vehicles in Traffic by Unmanned Aerial Vehicle. *Automation in Construction*, 72, 294-308.
- Zhang, C., Elaksher, A. 2011. An Unmanned Aerial Vehicle Based Imaging System for 3D Measurement of Unpaved Road Surface Distresses. *Computer-Aided Civil Infrastructure Engineering*, 27(2), 118-129.