



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 8(2): 172-183 (2017)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 8(2): 172-183 (2017)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Karayolu Projelerinde İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Sayısal Arazi Modelinin Değerlendirilmesi: Bucak-Kocçaliler Yolu Örneği

Emre TERCAN

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

Geliş Tarihi (Received): 11.05.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 18.08.2017

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author): emre_tercan@hotmail.com

☎ +90 242 3207000 📠 +90 242 3453699

ÖZ

Yüksek doğruluk ve hassasiyette sayısal arazi modeli üretmek, karayolu projelerinde yatay ve düşey güzergâhın sağlıklı şekilde belirlenmesi ve toprak işi miktarının hesaplanması için önemlidir. Nispeten ucuzlayan ve farklı yeteneklerden oluşan ölçme ekipmanlarını taşıyabilen insansız hava araçları (İHA), özellikle çalışma koşullarının zor olduğu topografik olarak dalgalı ve dağlık arazilerde sayısal arazi modelinin üretiminde kullanılabilecek çok etkili fotogrametrik sistemlerdir. Literatürde, karayolu mühendisliğinde insansız hava araçlarının performansını değerlendiren az sayıda çalışma olduğu için İHA sistemleri uygulama projelerinde test edilmelidir. Bu çalışmada, GNSS-IMU destekli bir İHA ve yersel yöntem kullanılarak 1500 metrelik karayolu koridorunun sayısal arazi modeli üretilmiştir. Test karayolu koridorunda yatay ve düşey güzergâh çalışması yapılmış, en kesitler ve profiller alınmış ve toprak işi miktarları hesaplanmıştır. İki yöntemden elde edilen sayısal arazi modelleri genellikle örtüşmektedir. İki yöntem arasında toprak işi miktarının hesabında toplam yarma miktarında %11, dolgu miktarında %1 fark belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, İHA fotogrametrisinin fotogrametrik ölçümlere engel bir detay içermeyen dalgalı ve dağlık arazi yapılı karayolu koridorlarında sayısal arazi modelinin üretiminde ve toprak işi miktarının belirlenmesinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Fotogrametri, Sayısal Arazi Modeli, Karayolu Projesi, Toprak İş Miktarı

Evaluation of Digital Terrain Model Obtained with Unmanned Aerial Vehicle in Roadway Projects: Bucak-Kocçaliler Roadway Example

ABSTRACT

Obtaining the digital terrain model with high accuracy and precision is crucial for healthily determining the horizontal and vertical route and calculating earthwork amount in highway projects. Unmanned aerial vehicles (UAVs), which are relatively inexpensive and capable of carrying different measuring capabilities, are very effective photogrammetric systems that can be used in the production of digital terrain models, especially in the topographically undulating and mountainous terrain where working conditions are difficult. In the literature, there are few studies evaluating the performance of unmanned aerial vehicles in roadway engineering, so the UAV systems should be tested on the implementation projects. In this study, digital terrain model of 1500-meter roadway corridor was produced by using an UAV supported by GNSS-IMU and a terrestrial method. In the test roadway corridor, horizontal and vertical route works were done, cross sections and profiles were taken and the amounts of earthwork were calculated. The digital

terrain models obtained from the two methods are overlapped in general. In the calculation of the earthwork amount between the two methods, 11% difference for the total cutting amount, and 1% difference for the filling amount were determined. The results show that the UAV photogrammetry is very effective in the production of the digital terrain model and in the determination of earthwork amount in roadway corridors which have undulating and mountainous terrain and have no objects that prevent photogrammetric surveys.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Photogrammetry, Digital Terrain Model, Roadway Project, Earthwork Amount

GİRİŞ

Hava fotoğrafçılığının sonucu olarak askeri amaçlarla ortaya çıkan, geleneksel yersel ölçme yöntemlerine göre oldukça hızlı ve hassas veri elde edebilen fotogrametri yöntemi, günümüzde askeri ve sivil uygulamaların yanısıra birçok farklı alanda kullanım olanağına kavuşmuştur. Yüksek irtifa uçakları ve yüksek çözünürlüğe sahip kameralar kullanılarak fotogrametride harita üretimi amacıyla geniş ölçüm sahalarında veri toplanmaktadır (Karkinli ve ark., 2015). GPS alıcıları, mikro işlemciler, jiroskoplar, kamera sistemleri, küçük ölçekli sensör ve elektronik iletişim ekipmanlarının maliyetlerinin düşmesi ile uzaktan kumanda edilebilen insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı artmaya başlamıştır. Sivil uygulama alanlarında çok sayıda kullanıcı için maliyet ve zaman rekabetçi alternatifler sunan ve satın alma bedelleri düşüş eğiliminde olan İHA fotogrametri sistemleri ile oldukça düşük maliyetli yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüğe sahip 3B veri elde edilmektedir (Eisenbeiss ve Sauerbier, 2011; Karkinli ve ark., 2015).

Sayısal arazi modeli, insan yapısı detayları ve bitki örtüsü gibi detayların olmadığı çıplak yer yüzeyi olarak tanımlanmaktadır (Höhle, 2009). Sayısal arazi modeli karayolu projelendirme sürecinde yatay ve düşey güzergâhın sağlıklı bir şekilde belirlenmesi ve yapım maliyetlerini doğrudan etkileyen toprak işi miktarının hesaplanmasında ciddi bir öneme sahiptir. Araziyi tasvir eden nokta sayısının fazla olması arazi yüzeyinin daha doğru ve sağlıklı belirlenmesini ve gerçeğe daha yakın hacim hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Türkiye’de karayolu projelerinde altlık olarak kullanılan sayısal arazi modeli ve harita üretiminde işçilik yoğunluklu GPS, total Station gibi geleneksel yersel yöntemler ya da klasik hava fotogrametrisi kullanılmaktadır. Yersel yöntemler topografyaya ve hava koşullarına bağlı olarak zaman kaybını ve yüksek maliyeti beraberinde getirmektedir. Yersel yöntemlerin insan ve insandan kaynaklı hataları barındırması, araziyi temsil eden nokta sayısının araziyi yeterince tasvir edememesi sayısal arazi modelinde ve hacim hesabında hatalara sebep olmaktadır. Klasik hava fotogrametri sistemleri çok geniş olmayan detay alımında, zaman-maliyet dengesinde olumsuzluk ve kısmen yüksek ölçü hataları

içermektedir. Bu nedenle, uygun maliyetlerle tasarlanabilen, araziyi tasvir eden yüksek doğrulukta ve hassasiyette çok sayıda nokta üretebilen İHA fotogrametri sistemleri, sayısal arazi modeli üretiminde ve toprak işi miktarının hesaplanmasında ciddi bir alternatif sunmaktadır.

İHA sistemleriyle elde edilen 3B veri çok sayıda disiplininde yeterli doğruluk ve hassasiyet sağlamaktadır. Ancak, uçuş sürelerinin kısıtlılığı, aşırı rüzgâr koşullarına karşı dayanıksızlık, yüksek eğim açıları ve örtüşme oranlarının sağlanmasında karşılaşılan sorunlar, çok geniş ve uzun alanlarda çekilen görüntü sayısının fazla olmasına bağlı olarak dengeleme sürecindeki karmaşıklık İHA sistemlerinin olumsuzlukları olarak sayılabilir.

Literatürde, İHA sistemleri kullanılarak çevresel kirliliğin belirlenmesi (Messinger ve Silman, 2016), tarımsal uygulamalar (Ortiz ve ark., 2015; Sugjura ve ark., 2016; Yu ve ark., 2016), arkeoloji (Dubini ve ark., 2016; Jorayev ve ark., 2016; Lozano ve Alonso, 2016), 3B harita üretimi ve modellemesi (Eisenbeiss, 2009; Remondino ve ark., 2011; Hudzietz ve Saripalli, 2011; Bulatov ve ark., 2011; Karkinli ve ark., 2015) gibi farklı disiplinlerde çok sayıda araştırma yürütülmektedir.

Yol mühendisliği disiplininde İHA sistemlerinin uygulamalarına odaklanan çok az sayıda araştırma bulunmaktadır (Metni ve Hamel, 2007; Rathinam ve ark., 2008; Zhang ve Elaksher, 2011; Siebert ve Teizer, 2014; Vilarino ve ark., 2016). Metni ve Hamel (2007) yapıların ve köprülerin bakımı, korunması ve izlenmesi için İHA sistemlerinin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Rathinam ve ark. (2008) boru hatları, yollar, köprüler, kanallar ve elektrik hatları gibi doğrusal yapıların otonom İHA tabanlı görüntülenmesi problemini irdelemişler ve doğrusal yapıları algılamak için bir kapalı devre kontrol algoritması geliştirmişlerdir. Zhang ve Elaksher (2011) kırsal yol yüzey tehlikelerinin 3B değerlendirilmesi için İHA tabanlı görüntüleme sistemi tasarlamışlardır. İHA sistemi olarak ataletsel navigasyon sistemi (INS), küresel konumlama sistemi (GPS) alıcısı ve basit bir kamera sisteminden oluşan bir helikopter kullanmışlardır. Tasarlanan bu İHA sistemiyle asfalt olmayan (kaplamsız) yol görüntülerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak bir görüntü işleme algoritması ile yol çukuru ve tekerlik izi gibi bozulmaların 3B modelini üretmişlerdir. Siebert ve

Teizer (2014) üç boyutlu harita verilerini otonom ve hızlı olarak elde etmek için bir İHA sistemi tasarlamışlardır. Bu sistemin performansını yol yapım sürecindeki bir kazı alanında ve yüksek hızlı tren yapım sürecinde test etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar yapım çalışmaları sürecinde İHA sistemlerinin geleneksel yersel yöntemlere ciddi bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada amaç; İHA fotogrametrisinin karayolu projelendirmede sayısal arazi modeli üretimi ve toprak işi miktarının hesaplanmasında kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. İHA fotogrametrisi ile topografik olarak dalgalı ve dağlık arazi yapısına sahip karayolu koridorlarında yüksek doğruluk ve hassasiyette 3B nokta ve sayısal arazi modeli üretilmesi ve toprak işi miktarının daha hassas olarak hesaplanması, gelecekte yapılacak çalışmalara önemli bir zemin oluşturacaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Bucak-Kocaaliler İl Yolu'nda 1500 metrelik bir kesim çalışma koridoru olarak seçilmiştir (Şekil 1). Seçilen karayolu kesimi yatay ve düşey güzergâhın belirlenmesinde bazı sınırlamalara sahip tepelik, kısmen alçalma ve yükselmelerin olduğu dalgalı arazi yapısına kısmen de dağlık arazi yapısına sahiptir. Türkiye genelinde topografik yapının genel olarak dağlık ve dalgalı arazi yapısına sahip olması dikkate alındığında çalışma yapılan yol kesiminin dalgalı ve kısmen dağlık topografik yapıya sahip olması tüm Türkiye'yi temsil etmesi açısından önemlidir.



Şekil 1. Çalışma Yapılan Karayolu Koridoru

Ölçme Ekipmanları

Sayısal yükseklik modeli ve ortofoto görüntünün üretiminde kullanılacak görüntülerin elde edilmesinde Mavinci Sirius Pro marka otonom insansız hava aracı kullanılmıştır (Şekil 2). Mavinci Sirius Pro, 120 cm uzunluğunda, kamera ile ağırlığı 2.7 kg, 163 cm kanat açıklık-

lı, maksimum 50 dakika uçuş yapabilen, 65 km/sa karakteristik düz uçuş süratine sahip, elapor köpükten yapılmış GPS-IMU ve otopilot destekli bir insansız hava aracı sistemidir. Bu sistem yatayda 10 mm+1.0 ppm, düşeyde 15 mm+1.0 ppm GNSS RTK (gerçek zamanlı kinematik) ölçüm doğruluğuna sahiptir. 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 3) (Mavinci, 2017).



Şekil 2. Mavinci İHA Sistemi (Mavinci, 2017)



Şekil 3. Fuji X-M1 Kamera (Mavinci, 2017)

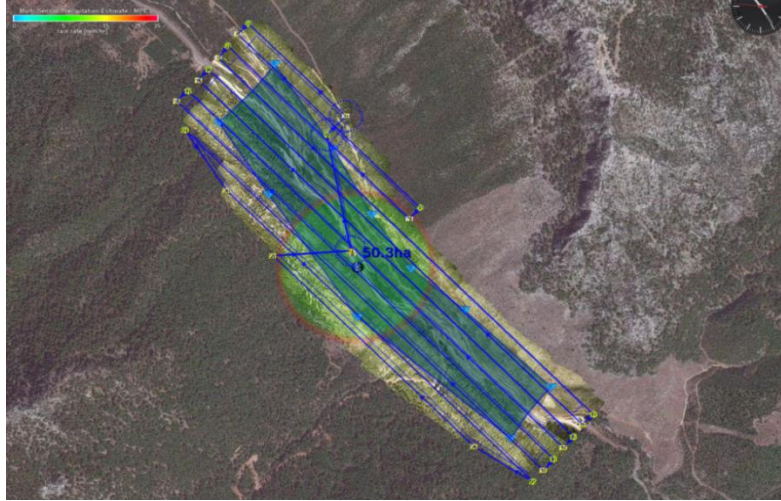
Yer kontrol noktalarının konumlarının belirlenmesi için ölçüm çalışmalarında RTK ölçüm doğruluğu yatayda 10 mm+1.0 ppm, düşeyde 15 mm+1.0 ppm olan Topcon Hyper V GNSS cihazı, yer kontrol noktalarının yüksekliklerinin belirlenmesi için geometrik nivelman ölçümlerinde 0.2 mm ölçüm hassasiyetli Leica-LS 10 elektronik dijital nivo kullanılmıştır. Geleneksel yersel yöntemle ölçüm çalışmalarında reflektörlü ölçüm hassasiyeti 1.5 mm+2 ppm reflektörsüz ölçüm hassasiyeti 2.0 mm+2 ppm olan Leica FlexLine TS09 plus lazerli total station cihazı kullanılmıştır.

Yöntem

Kamera özellikleri, uçuş yüksekliği, uçuş hızı ve örtüşme oranları gibi bilgilerin tanımlandığı fotogrametrik

uçuş planlaması (Şekil 4) ve simülasyon işlemleri Marvin Desktop yazılımı ile yapılmıştır. Uçuş yüksekliği 160 metre, boyuna örtüşme oranı %85, enine örtüşme oranı %65 olarak belirlenmiştir. Uçuş süresince test

karayolu koridorunun 420 adet yüksek çözünürlüklü görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 4. Uçuş Planlama Süreci

Blok dengeleme işlemi ve yersel detay alım ölçümlerinde kullanılmak üzere yer kontrol noktaları test karayolu koridoruna dağıtılmıştır. Uçuş koridorunda georeferanslama ve doğruluk kontrolü için 6 adet yer kontrol noktası tesis edilmiş ve statik ölçme yöntemi kullanılarak yer

kontrol noktalarının konumları, geometrik nivelman yöntemiyle kotları hesaplanmıştır. Yer kontrol noktalarının (ITRF 96 datumu-3 derece) koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yer Kontrol Noktalarının Koordinatları

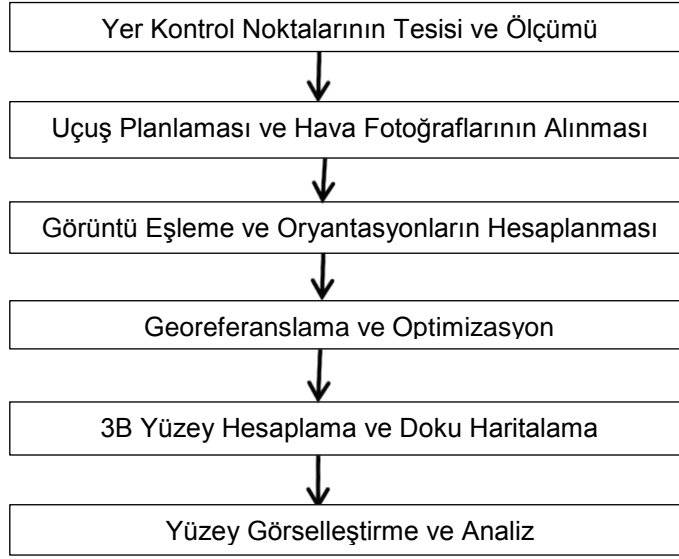
Nokta No	Epok: 2005 Datum: ITRF 96 Elipsoid: GRS 1980		
	Y	X	H (Ortometrik)
P.1	561529.515	4142466.879	742.235
P.2	561645.826	4142324.641	732.079
P.3	561862.572	4142021.885	726.807
P.4	562023.493	4142035.293	728.699
P.5	562180.783	4141812.431	707.377
P.6	562333.589	4141737.318	710.371

Geo-referanslandırılmış 3B nokta bulutunun elde edilmesi amacıyla fotogrametrik veri işlemek gerekmektedir. Fotogrametrik yöntemler 3 boyutlu verinin geriçatımı için iki boyutlu görüntü dizilerinden yararlanmakta, kamera kalibrasyon parametreleri olan iç (odak uzaklığı, ana nokta konumu, distorsiyon) parametreleri ve dış (kamera konum ve oryantasyon) parametrelere gereksinim duymaktadır (Beşdok ve Kasap, 2006).

Görüntülerin işlenmesinde kullanılan SFM (Shape From Motion) yöntemi, 3 boyutlu geriçatım için gerekli kamera kalibrasyon parametrelerini bilgisayarlı görme disiplininde geliştirilen algoritmalar aracılığıyla doğrudan birbiri ile örtüşen görüntülerden hesaplamaktadır. Ana-

liz edilmek istenen sahnenin 3 boyutlu geometrisi, görüntü kayıt anındaki bakış açılarının farklılığından yararlanılarak en az iki resimde bulunan eşlenen detay noktalarıyla trigonometrik olarak çözülmektedir (Karkinli ve ark., 2015; Besl ve McKay, 1992). Bu işlem sonucunda lokal bir koordinat sisteminde eşleştirilebilen nokta sayısınca 3 boyutlu nokta bulutu üretilmektedir. Yer kontrol noktalarının eklenmesi ile bu nokta bulutu georeferanslandırılmakta 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 verilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. İHA Fotogrametrisi Temel İşlem Adımları

Bu çalışmada, İHA sistemi ile alınan görüntülerin işlenmesi, SFM (Shape From Motion) algoritmasını kullanan, Rus üretici Agisoft LLC tarafından geliştirilen PhotoScan yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PhotoScan, SFM algoritmasını uygulayarak görüntülerden 3B modelin gerçatımına olanak sağlamaktadır. 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 oryantasyonlarını 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 PhotoScan, 2017).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Agisoft PhotoScan yazılımında, georeferanslama 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

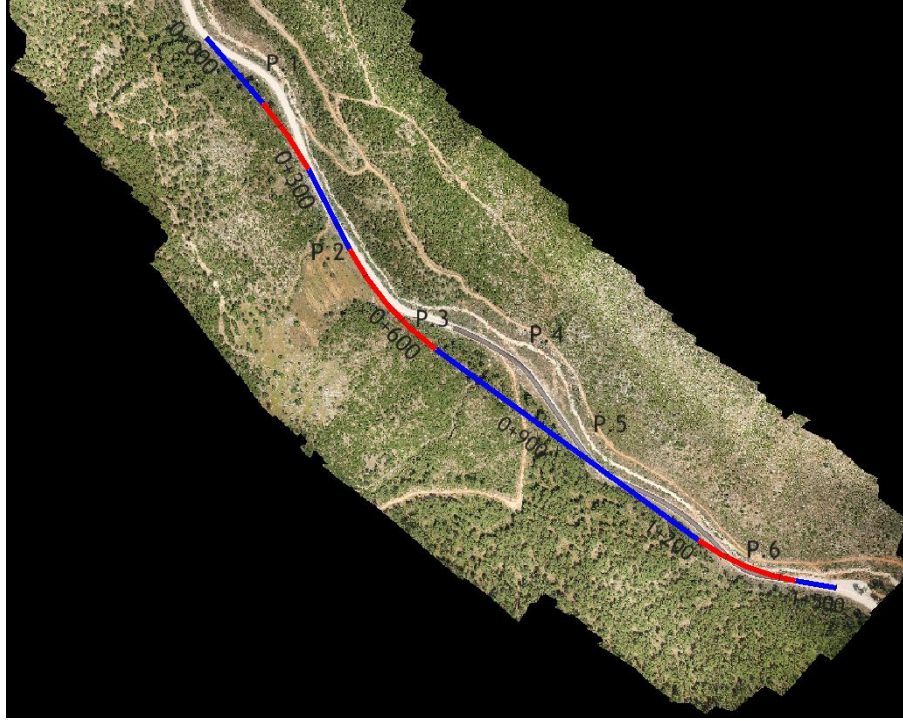
Nokta No	Hata Miktarı (m)		
	Δy	Δx	Δz
P.1	-0.0320	0.0399	0.0013
P.2	-0.0247	0.0363	0.0356
P.3	0.0311	-0.0235	0.0020
P.4	0.0336	-0.0570	-0.0201
P.5	0.0413	0.0427	-0.0086
P.6	-0.0177	0.0340	0.0159
Toplam	0.0310	0.0402	0.0030

Fotogrametrik yer kontrol noktalarının dağılımı her zaman uniform olarak araziye uygulanamaz. Ayrıca değerlendirme noktalarının yer kontrol noktalarından uzaklığı sonuç doğruluğunu etkilemektedir. Uçuş yüksekliğinin değişkenliği, yer kontrol noktalarının sayısı ve dağılımı, değerlendirilen noktanın bu noktalara uzaklığı, ölçü sayısı (gözlemlenen noktanın kapsadığı görüntü sayısına göre değişir) ve görüntü koordinatlarının doğ-

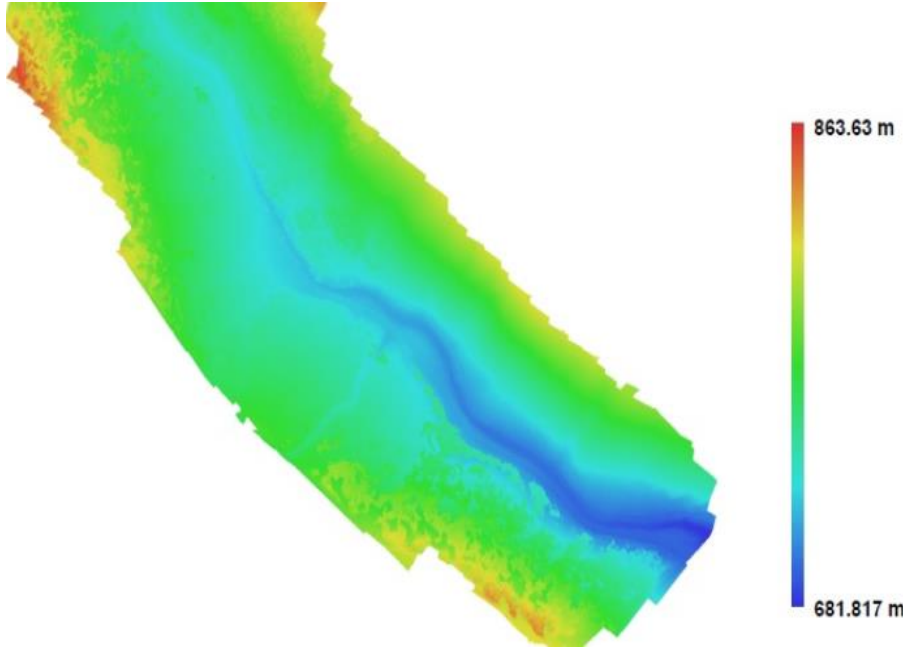
ruğu yer kontrol noktalarının ve diğer detay noktalarının doğruluğunu etkileyen faktörlerdir.

Bu çalışmada, yer kontrol noktalarının, uçuşlar sonucunda elde edilen fotoğraflarda işaretlenmesiyle fotoğraf eşleme işlemi yapıldıktan sonra 102.391,712 adet renklendirilmiş 3B nokta bulutu üretilmiştir. Çalışma koridorunun 160 metre uçuş yüksekliğinde 5.4 cm

mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü (Şekil 6) ve 11.1 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (Şekil 7) üretilmiştir.



Şekil 6. Ortofoto Görüntü, Yer Kontrol Noktaları ve Proje Ekseni

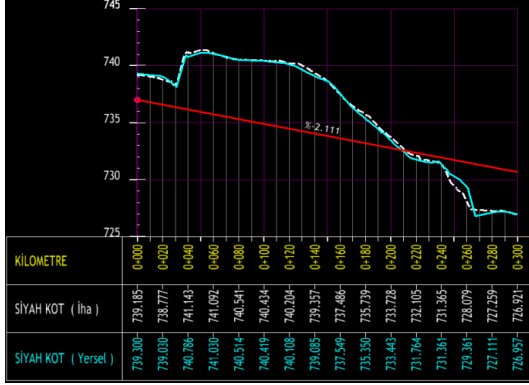


Şekil 7. Sayısal Yükseklik Modeli

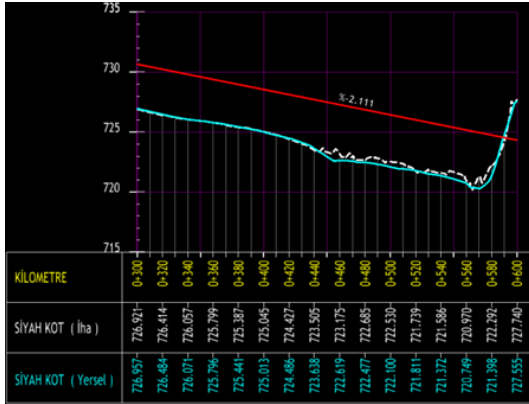
1500 metrelik test karayolu koridorunda Şekil 6'da sunulan yatay eksen (mavi çizgiler alıyman, kırmızı çizgiler yatay kurp bilgisini ifade etmek üzere) yüksek dolgu ve derin yarmalar çıkacak şekilde tasarlanmıştır. Düşey

güzergâh çalışmasında (profil), kırmızı kot yüksek dolgu ve derin yarmalar çıkacak şekilde tasarlanmış ve boyuna eğim %2-%4 aralığında belirlenmiştir (Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12).

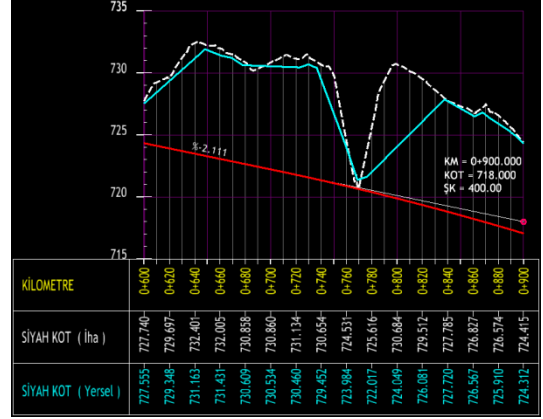
Yatay-düşey güzergâh çalışması, hacim hesapları ve hacim hesaplarında kullanılan sayısal arazi modelleri Micro Station v8i Inroads yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 1500 metrelik karayolu koridoru boyunca iki yöntemden elde edilen sayısal arazi modellerine ait profiller Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmuştur.



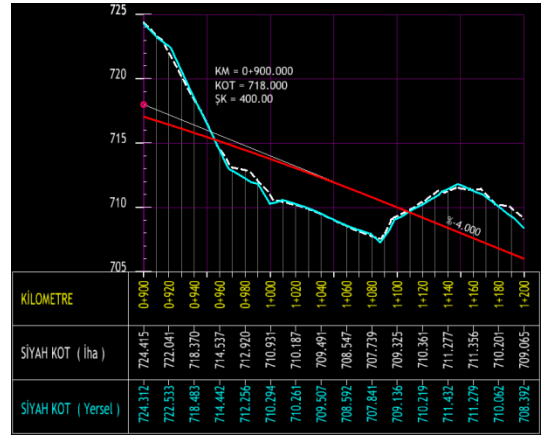
Şekil 8. Km:0+000-0+300 Arası Profil



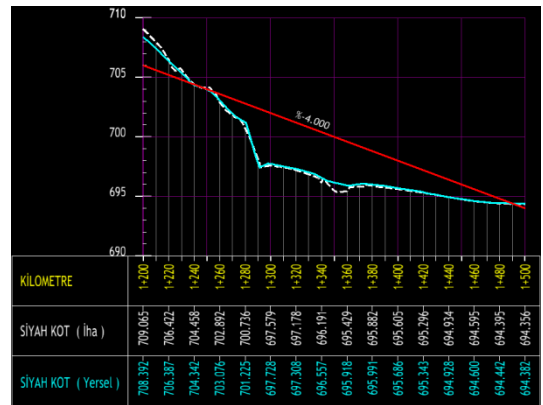
Şekil 9. Km:0+300-0+600 Arası Profil



Şekil 10. Km:0+600-0+900 Arası Profil



Şekil 11. Km:0+900-1+200 Arası Profil



Şekil 12. Km:1+200-1+500 Arası Profil

Şekil 8, Şekil 9, Şekil 11, Şekil 12'de belirlenen yol ekseninde iki yöntemden elde edilen sayısal arazi modellerinin birbiriyle örtüştüğü belirlenmiştir. Tablo 3 ve Tablo 4'te görüldüğü gibi iki yöntemden elde edilen toprak işi miktarları arasında önemli derecede fark belirlenmemiştir.

Şekil 10'da (Km:0+600-0+900) belirlenen yol ekseninde iki yöntemden elde edilen sayısal arazi modeli ve toprak işi miktarı kısmen örtüşmektedir (Tablo 3-4). Bu kesimde arazi yapısı dağlık olup fotogrametrik alıma engel bir durum (sık ormanlık, yoğun bitki örtüsü) söz konusu değildir. Sayısal arazi modelinde en belirgin farkın olduğu yol ekseninin geçtiği Km: 0+770-0+830 arasındaki kesimde; dere yatağı ve dere üst kotunda arazide ölçüm risklerine bağlı olarak yersel yöntemle ölçüm çalışmaları yeterli ve doğru olarak yapılamadığı

için İHA fotogrametrisi ile bu kesimde elde edilen sayısal arazi modeli ile hesaplanan toprak işi miktarı daha doğru ve hassas belirlenmiştir.

Bu çalışmada projesi hazırlanan 1500 metrelik karayolu koridorunda İHA sistemi ile yersel yöntem arasında toplam yarma miktarında 12502.45 m³, dolgu miktarında 499.174 m³ fark belirlenmiş olup sayısal değerler Tablo 3 ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 3. Hesaplanan Yarma Miktarları

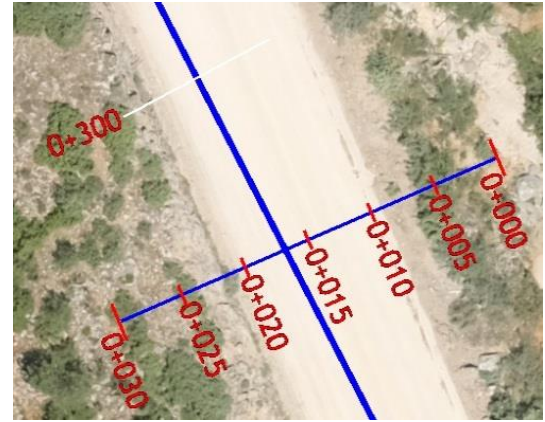
Proje Km	Yarma (m ³)			
	İHA	Yersel	Fark (İHA-Yersel)	% (Fark)
0+000-0+300	23604.99	23114.46	490.53	2.1
0+300-0+600	640.86	607.54	33.32	5.2
0+600-0+900	68155.06	57045.78	11109.28	16.3
0+900-1+200	15446.49	14763.08	683.41	4.4
1+200-1+500	3047.72	2861.81	185.91	6.1
Toplam	110895.12	98392.67	12502.45	11.3

Tablo 4. Hesaplanan Dolgu Miktarları

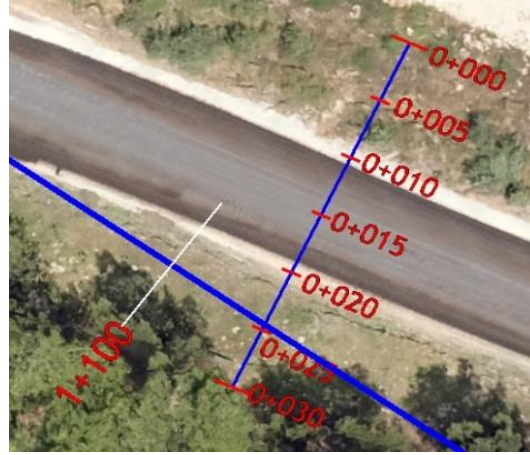
Proje Km	Dolgu (m ³)			
	İHA	Yersel	Fark (İHA-Yersel)	% (Fark)
0+000-0+300	3212.925	3117.654	95.271	2.97
0+300-0+600	20317.337	20780.056	-462.719	-2.28
0+600-0+900	0.002	0	0.002	0
0+900-1+200	7754.506	8132.631	-378.125	-4.8
1+200-1+500	12408.467	12162.07	246.397	1.9
Toplam	43693.237	44192.411	-499.174	-1.1

Test karayolu koridorunda genel olarak iki yöntem arasında toplam yarma (Tablo 3) ve toplam dolgu miktarı (Tablo 4) hesabında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

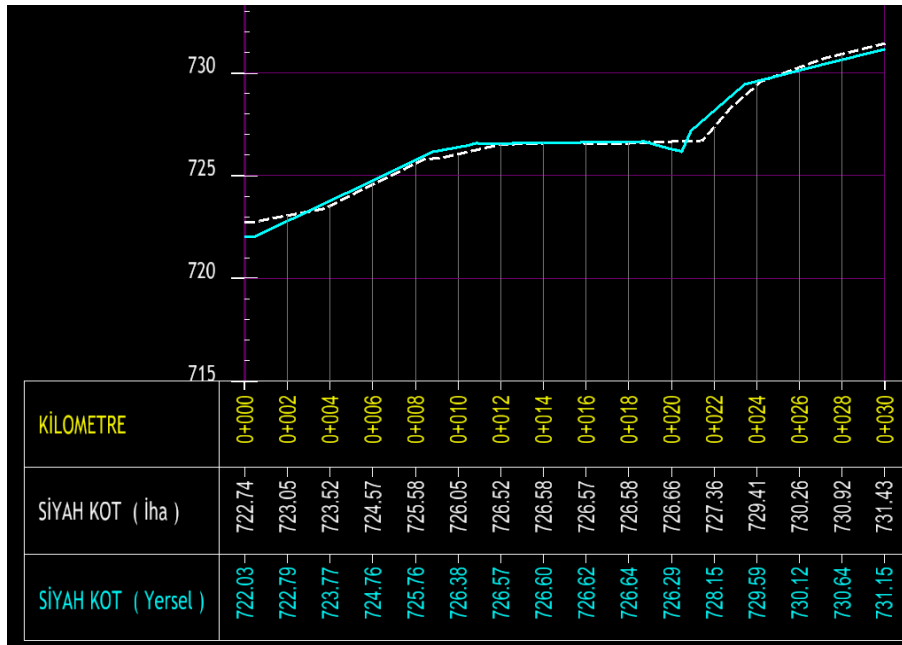
İki yöntem, iki ayrı kesimde yol platformu, hendek, şev altı, şev üstünü kapsayacak şekilde 30 metrelik bir kesitte karşılaştırılmıştır (Şekil 13-14). İki yöntem arasında sert satırlı zeminlerde Km:0+012- 0+018'de 2-6 cm (Şekil 15), 8-12 cm (Şekil 16) kot farkı tespit edilmiştir. Yersel yöntemle şev altı, şev üstü (0+000-0+012 ve 0+022-0+030), hendek (0+019-0+021) gibi arazideki detayların daha belirgin ve doğru ölçülmesinden dolayı bu yöntemin daha doğru sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Şekil 15-16).



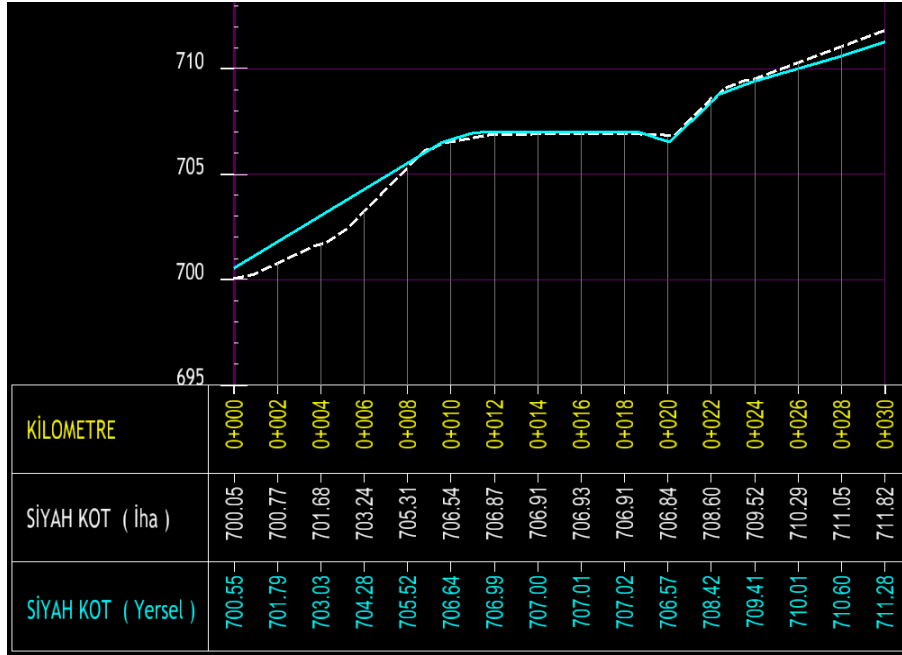
Şekil 13. Km:0+310'da Test Koridoru



Şekil 14. Km:1+110'da Test Koridoru



Şekil 15. Km:0+310'da yol ekseninden bir kesit



Şekil 16. Km:1+110'da yol ekseninden bir kesit

Ülkemizde İHA sistemlerinin karayolu projelendirmede sayısal arazi modelinin üretimine ait yönetmelik ve teknik şartnamelerinde herhangi bir madde mevcut değildir. İHA sistemlerinin, dalgalı ve dağlık arazi yapılı fotogrametrik alıma engel bir detayın olmadığı karayolu koridorlarında ortofoto görüntü ve sayısal harita üretim sürecinde kullanılması için Karayolları Genel Müdürlüğü'nce Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita İşlerine ait Teknik Şartnamesinde düzenleme yapılması gereklidir. Bu şartnamede kamu ve özel sektörde bulunan karayolu mühendislerinden oluşan bir komisyon kurulmak suretiyle düzenleme yapılması önerilmektedir. Türkiye'de bu kapsamda yakın iş niteliğinde değerlendirilebilecek İller Bankası A.Ş. Genel Müdürlüğü özel teknik şartnamesi (İlbank, 2016) ve özellikle karayolu uzmanları görüşleri doğrultusunda Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita İşlerine ait Teknik Şartnamesinde "Karayolu Ölçmelerinde İnsansız Hava Araçlarının Kullanılması" başlığı altında bir bölüm hazırlanmalıdır. Bu bölümde dikkate alınması gereken öneri ana maddeler aşağıda sıralanmıştır.

- 1/1000 ölçekli şeritvari hâlihazır haritaların ve sayısal arazi modellerinin üretiminde fotogrametrik yöntem olarak İnsansız Hava Araçları kullanılabilir.
- Hava fotoğrafı çekiminde GNSS-IMU desteği benimsenmelidir (İlbank, 2016).
- Çekilen bu fotoğrafların yöneltme işlemlerinde klasik fotogrametrik (havai) nirengi (aerial triangulation) yöntemleri veya Kinematik- GNSS destekli ya da olanak var ise GNSS-IMU destekli fotogrametrik nirengi yöntemleri kullanılabilir (İlbank, 2016).

- Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan "İnsansız Hava Aracı Sistemleri Talimatı" nda (SHGM, 2016) belirtilen kriterler sağlanmalıdır (İlbank, 2016).
- Proje sahasındaki Tutga, C1, C2, C3 noktalarının dışında proje sahasını kapsayan her 1/1000 ölçekli paftaya en az 2 nokta düşecek şekilde idarenin uygun gördüğü sıklıkta yeteri kadar yer kontrol noktası (YKN) tesis edilecektir. YKN noktaları C4 derece nokta hassasiyetinde ölçülecek olup bu noktaların ortometrik kotları ana nivelman ölçüsünde geometrik nivelman ile veya lokal geoid ile belirlenecektir. (YKN lerin zemin cinsleri boru, çivi veya poligon betonu olacak şekilde tesis edilecek ve uçuş öncesi kanat boyamaları yapılacaktır) (İlbank, 2016).
- Değişken odak uzaklığına sahip objektifler ya da balık gözü tipi objektifler kullanılamaz (İlbank, 2016).
- Hava fotoğrafı çekiminde en az 12MP çözünürlüklü kamera kullanılmalıdır (İlbank, 2016).
- Fotoğraf Ölçekleri kapsamında; sayısal (dijital) kameralarda 1 (bir) piksel çözünürlük arazide ortalama 8 cm'ye karşılık gelecektir. Analitik, sayısal (dijital) kameralarla resim çekimlerinde boyuna bindirme oranı en az % 80, enine bindirme oranı en az % 60 olmalıdır. Uçuşun planlanan bindirme oranlarından sapması bu oranların % 10'unu geçemez (İlbank, 2016).
- Fotoğraf çekimi kapsamında; uçuş görevi, uçuş plânına uygun olarak bulutsuz bir havada, yerel öğle zamanından yaklaşık iki saat önceki ve sonraki zaman aralığında gerçekleştirilir. Fotoğraf çekimi arasında güneşin yükseklik açısı 30° den daha büyük

olmalıdır. Uçuşların plânlanan biçimde gerçekleştirilmesi için GPS denetimli, uçuş sisteminden de yararlanır. Fotoğraf çekim noktalarının plânlanan durumdan olan farkları fotoğraf ölçeğinde 2 cm'yi geçmemelidir. Kamera ekseninin düşey doğrultudan sapmaları da 5 gradı geçmemelidir (İlbank, 2016).

- 1/1000 ölçekli harita yapımı sonrasında üretilecek ortofoto görüntülerinin piksel boyutunun arazideki karşılığı maksimum 10 cm. olacaktır (İlbank, 2016).
- BÖHMBÜY ve Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita İşlerine ait Teknik Şartnamesinde yer alan uygun herhangi bir ölçme tekniği kullanılarak (RTK GNSS ya da Total Station) kapsamlı bir arazi bütünlmesi yapılacaktır. Bu kapsamda İHA fotogrametri yöntemiyle yeterli doğrulukta ölçülmesi zor olan detayların (menfez, hendek, köprü, duvar, enerji iletim hattı-yol kesişimlerinde telin yoldan yüksekliğinin belirlenmesi gibi) ve sert satırlı zeminler gibi karayolu projeleri için önemli detayların daha doğru ve hassas çıkarılması için İHA fotogrametri yönteminin yersel yöntem ile desteklenmesi gereklidir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karayolu projelendirmede sayısal arazi modelinin ve toprak işi miktarının sağlıklı bir şekilde belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda satın alma maliyeti düşüş eğiliminde olan İHA sistemleri ile araziye tam olarak tasvir edebilen hassas ve çok sayıda nokta üretilebilmekte ve dolayısıyla gerçeğe daha yakın hacim ve yüzey hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada, SFM (Shape from motion) algoritması kullanılarak İHA sistemi ile elde edilen görüntüler işlenmiş ve karayolu koridorunun 5.4 cm mekânsal çözünürlüklü ortofoto görüntüsü ve 11.1 cm çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. İHA sistemi ile arazi üzerinde daha fazla ölçü imkânı olması arazinin daha detaylı modellenmesine olanak sağlamaktadır. Kaliteli ölçü adedi arttığı için sayısal arazi modelinin doğruluğunun artması olasılığı yükselmektedir. İki yöntem arasında toprak işi miktarının hesabında toplam yarma miktarında %11, dolgu miktarında %1 fark belirlenmiştir. İHA fotogrametrisinin topografik olarak dalgalı ve dağlık arazi yapılı ve fotogrametrik alıma engel bir detayın olmadığı karayolu koridorlarında ortofoto görüntü ve sayısal arazi modeli üretiminde ve toprak işi miktarının hesabında kullanılacağını göstermektedir.

Bu çalışmada ele alınan, karayolu projelendirmede İHA sistemi ile sayısal arazi modeli üretiminin ve toprak işi miktarı hesabının yüksek doğruluk ve hassasiyette yapılması gelecekte yapılacak çalışmalara önemli bir zemin oluşturacaktır. İHA sistemlerinin dalgalı ve dağlık arazi yapısına sahip karayolu koridorlarında kullanılması ile zaman kaybı ve toplam maliyet azalacak, arazide

detay ölçüm çalışmalarında işçi çalıştırılmadığı için iş kazaları da azalacaktır. Ancak, uçuş sürelerinin kısmen sınırlı olması, aşırı rüzgâr şartlarına karşı dayanıksızlık, örtüşme oranlarının sağlanmasında karşılaşılan problemler, çok geniş ve uzun ölçüm koridorlarında çekilen görüntü sayısının fazla olmasına bağlı olarak dengeleme sürecindeki karmaşıklık İHA fotogrametri sistemlerinin olumsuzlukları olarak sayılabilir. Ayrıca, İHA fotogrametri yöntemiyle yeterli doğrulukta ölçülmesi zor olan menfez, hendek, köprü, enerji iletim hattı-yol kesişimlerinde telin yoldan yüksekliğinin belirlenmesi gibi karayolu projeleri için önemli detayların daha doğru ve hassas çıkarılması ve özellikle sert satırlı zeminlerin fotogrametrik yöntemle değerlendirmesinde olası kot hatalarını elemine edebilmek için İHA fotogrametri yönteminin yersel yöntem ile desteklenmesi gereklidir.

İHA sistemlerinin, dalgalı ve dağlık arazi yapılı fotogrametrik alıma engel bir detayın olmadığı karayolu koridorlarında ortofoto görüntü ve sayısal harita üretim sürecinde kullanılması için Karayolları Genel Müdürlüğü'nce Karayolları Yersel ve Fotogrametrik Harita İşlerine ait Teknik Şartnamesinde düzenleme yapılması gereklidir.

Yaklaşık maliyet hesabı yapmak için hesap parametreleri olarak, yer kontrol noktalarının istikşafı, tesisi, GPS oturumu, nivelman ölçümleri, detay alımı, uçuş süreci, uçak yıpranma payı ve bakım giderleri, yemek, konaklama, yakıt giderleri, teknik personel ve ofis çalışma giderleri ve zaman dikkate alınmıştır. İki yöntem bu parametreler dikkate alınarak değerlendirildiğinde, karayolu ölçmelerinde İHA yönteminin arazinin topografik durumuna bağlı olarak (düz, dalgalı, dağlık arazi) %30-40 aralığında yersel yöntemle göre daha ekonomik olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Agisoft PhotoScan User Manual, 2017.
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 sistemin tasarımı ve gerçekleştirilmesi. Eleco'2006, Elektrik - Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı Bildirileri, Bursa.
- Bulatov, D., Solbrig, P., Gross, H., Wernerus, P., Repasi, E., Heipke, C. (2011). Context-based urban terrain reconstruction from UAV-videos for geoinformation applications, Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), September 14-16, 2011, Zurich, Switzerland.
- 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., Sauerbier, M. (2011). Investigation of uav systems and flight modes for photogrammetric applications. *The Photogrammetric Record*, 26 (136): 400-421.
- Höhle, J. (2009). DEM generation using a digital large format frame camera. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75 (1): 87-93.
- Hudzietz, B.P., Saripalli, S. (2011). An experimental evaluation of 3D terrain mapping with an autonomous helicopter. *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*, September 14-16, 2011, Zurich, Switzerland.
- İlbank. (2016). İller Bankası A.Ş. Genel Müdürlüğü özel teknik şartnamesi
- 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*, Mayıs 21-23, 2015, Konya, Türkiye.
- 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.
- Metni, N., Hamel, T. (2007). A UAV for bridge inspection: visual serving control law with orientation limits. *Automation in Construction*, 17 (1): 3-10.
- Ortiz, M.P., Pena, J.M., Gutierrez, P.A., Sanchez, J.T., Martinez, C.H., Granados, F.L. (2015). A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method. *Applied Soft Computing*, 37: 533-544.
- Rathinam, S., Kim, Z.W., Sengupta, R. (2008). Vision-based monitoring of locally linear structures using an unmanned aerial vehicle. *First Journal Of Infrastructure Systems*, 14 (1): 52-63.
- 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)*, September 14-16, 2011, Zurich, Switzerland.
- 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.
- SHGM, 2016. https://iha.shgm.gov.tr/public/document/SHT-IHA_REV1.pdf (Erişim Tarihi:10.07.2017)
- Sugiura, R., Tsuda, S., Tamiya, S., Itoh, A., Nishiwaki, K., Murakami, N., Shibuya, Y., Hirafuji, M., Nuske, S. (2016). Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. *Biosystems Engineering*, 148: 1-10.
- Vilarinho, 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.
- Yu, N., Li, L., Schmitz, N., Tian, L.F., Greenberg, J.A., Diers, B.W. (2016). Development of methods to improve soybean yield estimation and predict plant maturity with an unmanned aerial vehicle based platform. *Remote Sensing of Environment*, 187: 91-101.
- 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.