

## Silifke Aşağı Dünya Obruğunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi

Murat Yakar<sup>1</sup>, Yusuf Doğan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin.

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya.

e-posta:myakar@mersin.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.02.2017 ; Kabul Tarihi: 26.07.2017

### Özet

İHA'lar (İnsansız Hava Araçları) üzerinde insan bulunmadan uçabilen ve uzaktan kontrol edilen sistemler olarak tanımlanır. Bu araçlar ulaşılması ve üzerinden veri toplaması zor olan yerlerde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. İHA'ların bu kabiliyeti Fotogrametri tekniği için mükemmel bir fırsat olup üç boyutlu modelleme çalışmalarına hız kazandırmıştır. Yetenekleri ile birçok alanda uygulama imkanı bulan insansız hava araçlarının kullanım alanlarından biri de obruklardır. Obruk, yatay veya yataya yakın tabakalı kireçtaşlarında bulunan yeraltı nehirlerinin veya aktif mağara tavanlarının çökmesi sonucu oluşmuş baca veya kuyu görüntüsü veren derin çukurluklardır. Karstik arazilerdeki mağara ve galeri gibi yer altı boşlukların tavanlarının çökmesiyle oluşan derin çukurlardır. Bu çalışma, Mersin ili Silifke ilçesi Atayurt Mahallesi sınırlarında bulunan Aşağı Dünya Obruğu ya da diğer adıyla Akhayat Obruğu üzerinde yapılmıştır. Bu gibi jeolojik yapıların üç boyutlu modelleri milyonlarca yıl süren tektonik süreçlerin araştırmacılar tarafından incelenmesine büyük faydalar sağlamaktadır. Çalışmamızda öncelikle GNSS cihazıyla obruk çevresine tesis ettiğimiz Yer Kontrol Noktalarının koordinatları ölçülmüştür. İlk olarak obruk üzerinde uçuş planı hazırlanıp bu plan dahilinde uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Ardından İHA ile obruğun içinden düşey konumda olacak şekilde fotogrametrik yöntemle fotoğraf çekilmiştir. Son olarak fotoğraflardan üç boyutlu model üretebilen bir yazılım ile obruğun üç boyutlu ölçekli modeli, Ortofotosu, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturulmuştur.

### Anahtar kelimeler

Aşağı Dünya Obruğu,  
Fotogrametri, İHA, Üç  
Boyutlu Modelleme,  
SYM, SAM

## 3D Modelling of Silifke Asagi Dunya Sinkhole By Using UAV

### Abstract

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) are defined as systems that can fly without man and are controlled remotely. UAV provides great facilities in places that are difficult to reach and data collection is difficult. This capability of UAVs is an excellent opportunity for photogrammetric technique and accelerates three-dimensional modeling efforts. With its capabilities, there are sinkholes in the use areas of unmanned aerial vehicles that have many application possibilities. Sinkholes are deep wells that form underground rivers in the horizontal or near-bedded limestones, or as a result of the collapse of active cave ceilings. They are deep pits formed by the collapse of the ceilings of underground spaces such as caves and galleries. This study was carried out on the "ASAGI DUNYA OBRUGU", also known as Akhayat Obruğu, located at the borders of the Atayurt Quarter of the Silifke district of Mersin province. The three-dimensional models of such geological structures provide great benefits to the researchers in examining the tectonic processes that took millions of years. In our work, the coordinates of the Ground Control Points, which we installed around the sink hole with the GNSS instrument, were measured. First, a flight plan was prepared on the sink hole and flights were carried out within this plan. Subsequently, overlaid photographs were taken by photogrammetric method, such that it would be in a vertical position through the sinkhole with the UAV. Finally, a three-dimensional scale model, Orthophoto, Digital Elevation Model (DEM) was created with software that produces three-dimensional models from photographs.

### Keywords

Aşağı Dünya Sinkhole,  
Photogrammetry, UAV,  
Three Dimensional  
Modeling, DEM, DTM.

### 1. Giriş

Büyük jeolojik oluşumların araştırılması, gelecekteki muhtemel değişikliklerin izlenebilmesi açısından, yaşamsal bilgiler sağladığı için çok önemlidir (Yakar,

2011). Bu çalışmada obruk gibi jeolojik oluşumların fiziksel geometrisinin incelenmesi için fotogrametri tekniği ile sayısal yüzeylerinin oluşturulması anlatılmaktadır. Sayısal yüzey oluşturma, yerbilimleri alanında jeolojik süreçlerin

sayısallaştırılması ve nicelik kazandırılması açısından esaslı bir araç olarak önemli bir rol oynamaktadır (Kolzenburg vd., 2016). Sayısal yüzey oluşturularak elde edilen fiziksel modellerin en büyük yararı, model boyutlarının ve malzemelerinin doğru şekilde ölçeklendirilmesiyle, araştırmacıların doğal olarak milyonlarca yıl süren yapısal veya tektonik süreçleri doğrudan gözlemleyebilmesidir (Fischer ve Keating, 2005). Karstik bölgelerde hidrolojik süreçlerin anlaşılması ve jeolojik tehlikelerin azaltılması için obrukların ayrıntılı haritalandırılması kritik önem taşımaktadır. Obruklar, karbonat kayaçlarının sudan çözülmesiyle oluşan ve yüzeyi örten toprak parçacıklarının yeraltına taşınmasıyla yüzeyin hafifçe alçalmasına veya aniden çökmesine neden olan yüzey çöküntüleridir (Zhu, 2014). Başka bir tanımda ise obruk, doğal dış yüzey drenajı bulunmayan bir alan olup yağmur yağdığı zaman, suyun tümü obruğun içinde kalır ve genellikle yüzeyin altına akar, şeklinde tanımlanmaktadır. Bu jeolojik yapılar bir kaç metre kare ile yüzlerce dönüm arasında ve 1 ila 50 metreden fazla derinliğe sahip olabilir. Bazıları sığ kase veya tabak şeklinde olup bazıları dikey duvarlara sahiptir; kimileri su tutar ve doğal göletler oluşturur. Tipik olarak, obruklar o kadar yavaş oluşur ki insan yaşamı boyunca çok az değişiklik görülür, ancak bir çökme meydana geldiğinde aniden oluşabilirler (Kaufmann, 2007).

Bu çalışmada sayısal yüzey oluşturmak için çoklu fotoğraflarla 3-B model üretme tekniğini kullanan fotogrametrik yaklaşım tercih edildi. Structure-from-Motion (SfM) olarak adlandırılan bu yaklaşım, bilgisayarlı görü bilimlerinden, bir çok görüntünün özelliklerini otomatik olarak algılayıp eşleştirdikten sonra noktaları üçgenleyerek fotogrametriye yardımcı olan, bir dizi algoritmayı belirtir. Ayrıca Multiview Stereo (MVS) olarak da adlandırılır (Peterson vd., 2015). Temel olarak modellenmek istenen objenin farklı bakış açılarından çekilen görüntülerinden ortak noktaları algılayıp 3-B yüzey modeli üretmek için stereo görüntü tekniğini kullanan klasik fotogrametri yaklaşımıdır. Bilgisayar teknolojisindeki son gelişmeler, SfM ve MVS

fotogrametrik yaklaşımlarını kullanarak tüketici sınıfı (düşük maliyetli, satışa hazır) dijital kameralarla çekilen fotoğraflardan 3-B yüzeylerin oluşturulmasına izin vermiştir (Kolzenburg vd., 2016). Özellikle karmaşık yapıların (jeolojik yapı, engebeli arazi yapısı, kompleks mimari ve mühendislik yapıları vs.) modellenmesinde düşük maliyetli ve kullanıcı dostu bir yöntemdir. Bu çalışmada SfM algoritmasını kullanan AgiSoft PhotoScan programı kullanıldı. Bu program ile yapının çoklu görüntüleri ile seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, Sayısal Arazi Modeli (SAM), sayısal yükseklik modeli (SYM) ve ortofoto görüntüsü elde edildi.

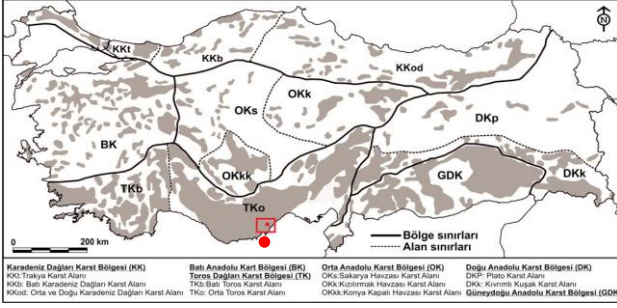
Çalışma alanı olarak seçilen Aşağı Dünya Obruğunun duvar yüzeyinin modelini oluşturmak için tercih ettiğimiz SfM yönteminin yanı sıra tabanı ve etrafındaki arazi yüzeyinin modelini de oluşturmak için klasik hava fotogrametrisi uçuş planı tekniğiyle çekilen görüntüler de kullanıldı. Obruğun fotoğrafları İnsansız Hava Aracı (İHA) ile çekildi. Her ne kadar İHA üzerinde GPS alıcısı bulunsada düşük doğrulukta konum ölçmesinden dolayı arazi üzerinde Yer Kontrol Noktaları (YKN) tesis edilerek GNSS cihazı ile yüksek doğruluklu nokta koordinatları ölçüldü. Oluşturulan model YKN ile yüksek doğruluklu gerçek koordinatlara getirildi.

## 2. Materyal

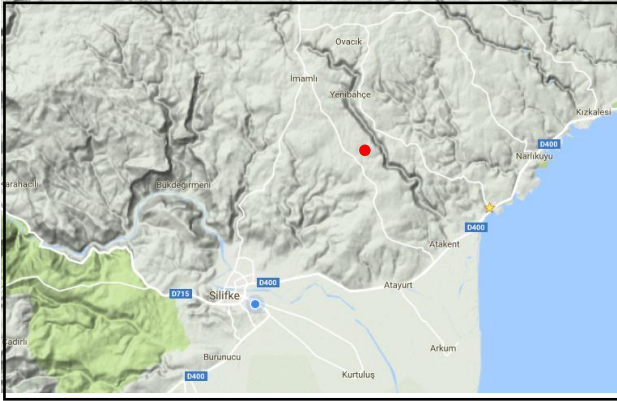
### 2.1.Çalışma Alanı

Çalışma alanı Mersin ili Silifke ilçesine bağlı Atayurt Mahallesinin 8 km kuzeyinde dağlık arazide bulunan Aşağı Dünya Obruğu diğer adıyla Ak Hayat Obruğudur. Silifke jeolojik olarak Toros Dağları Karst Bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1). Obruklar karstik arazilerdeki mağara ve galeri gibi yer altı boşlukların tavanlarının çökmesiyle oluşan derin çukurlardır. Ayrıca, Silifke'nin doğusunda Narlıdere gerisindeki kalker plato içinde bulunan Cennet Cehennem obrukları büyük olup, yeraltı mağara sistemine ait tavan çökmeleri neticesinde şekillenmiştir (Sür, 1994). Cennet Cehennem obruklarının yaklaşık 8 km kuzeybatısında bulunan Aşağı Dünya Obruğu da aynı plato içinde kalmakta

olup yine mağara sistemine ait tavan çökmesi neticesinde oluşmuştur.



Şekil 1. Türkiye'nin karstik bölgeleri (Nazik ve Tuncer, 2010'dan düzenlenerek).



Şekil 2. Aşağı Dünya Obruğunun Konumu (© Google Harita Verileri 2017)

Obruğun bulunduğu bölgede oldukça yoğun tarihi kalıntılar göze çarpmaktadır. Karadedeli köyünden obruğa giden yol boyunca iki tane antik kent (Karakabaklı ve Işıkkale) bulunmakta olup çalışma alanı olarak seçilen yaklaşık 40 dekar alanı kapsayan obruk ve çevresinde tarihi harabeler, sarnıçlar ve kaya mezarları göze çarpmaktadır. Arazi yapısı genel itibariyle taşlık kayalık yapıda ve bitki örtüsü maki formasyonundadır. Obruğun içine antik dönemden kalma kaya yüzeyi oyularak yapılmış bir merdivenle inilebilmektedir. Merdivenin bittiği noktada toprak ve kaya yığıntıları başlamaktadır. Bu yığıntıların üzerinden de indikten sonra obruk tabanına ulaşılabilir ve obruk tabanı yukarıdaki bitki örtüsünden farklı olarak bir orman görüntüsü içerisindedir.

## 2.2. Arazi Çalışması ve Kullanılan Donanım

Genel olarak, geleneksel fotogrametrik işlem yöntemleri YKN (Yer Kontrol Noktaları)'na güvenir. Her ne kadar fotogrametri dijital teknolojiyi

benimsemiş olsa da, YKN'ler güvenilir bir coğrafi referanslama bilgisinin tek kaynağı olarak kabul edilmektedir (Tsai vd., 2012). Bu yüzden obruk ve çevresiyle birlikte yaklaşık 40 dekar olan çalışma alanının etrafına eşit dağılacak şekilde 10 tane YKN tesis edilmiştir. Bu noktalardan biri ise doğruluk kontrol noktası olarak kullanılmıştır.



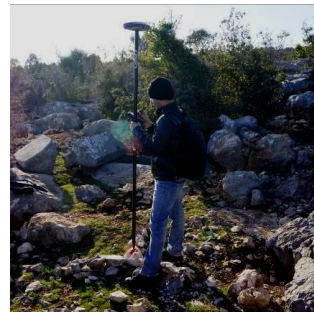
Resim 1. Araziye tesis edilen YKN

Yer Kontrol Noktalarının ölçümü Spectra SP80 GNSS cihazı ile TUSAGA-Aktif CORS Sistemi kullanılarak yapıldı. Cihaz 6 farklı GNSS sisteminin (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS ve SBAS) tüm sinyallerini kullanabilmektedir. Cihazın Post-Process hassasiyeti:

Statik & Hızlı Statik

- Yatay: 3 mm + 0.5 ppm
  - Düşey: 5 mm + 0.5 ppm
- Yüksek Hassasiyetli Statik
- Yatay: 3 mm + 0.1 ppm
  - Düşey: 3.5 mm + 0.4 ppm olarak belirtilmektedir (URL-2).

Noktalardan bir kere olmak üzere 8 ila 18 Epok sayısı aralığında alım yapılarak XYZ koordinatları elde edildi. Z koordinatları elipsoid yüksekliğinde elde edilmiştir.



Resim 2. YKN'lerin ölçümü



Resim 3. Spectra SP80(URL-3)

Arazinin fotoğrafları, 12 MP (4000x3000) çözünürlüklü kameraya sahip DJI Phantom 3 Standard İHA ile çekildi. İHA'nın sahip olduğu 3-eksenli gimbal kendisine bağlı olan kameranın titreşimini  $\pm 0.02^\circ$  eğik titreşim aralığında olacak hassasiyette engellemektedir.



Resim 4. DJI Phantom 3 Standard

En çok 6000 m yüksekliğe çıkabilen aracın uzaktan kumanda ile iletişim uzaklığı yaklaşık 120 m'dir. Ağırlığı 1216 g ve hava şartlarına bağlı olarak yaklaşık uçuş süresi 25 dk olan araç en çok 16 m/s'ye ulaşan hızlara çıkabilmektedir. Ayrıca araçta dahili bir GPS alıcısı bulunmaktadır ve havada iken konum doğruluk aralığı yatayda  $\pm 1.5$  m, düşeyde  $\pm 0.5$  m'dir. Araçta kullanılan kamerada 1/2.3" CMOS sensör ve diyaframı f/2.8, FOV (Field of View – Görüş Alanı)  $94^\circ$ , odak uzaklığı 20 mm (35 mm eşdeğeri) lens bulunmaktadır (URL-1).

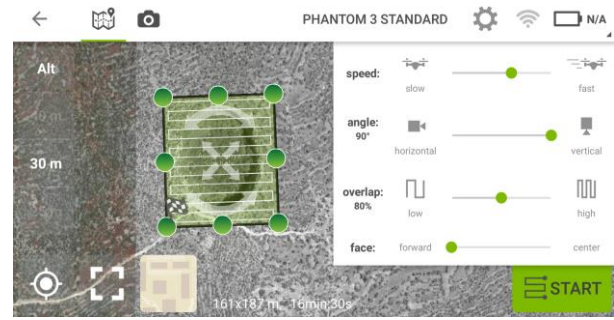
### 3. Metot

YKN'lerin tesis edilmesinde obruğun etrafına eşit olarak dağılmasına özen gösterildi. Tesis edilen 10 adet nokta GNSS cihazıyla TUSAGA-Aktif CORS Sistemine bağlanılarak ITRF96 Datumunda GRS80

Tablo 1. Yer Kontrol Noktalarının Koordinatları ve RMS Hassasiyeti

Elipsoidinde 2005.0 Epokunda ölçüldü. Her bir noktanın alımı 8 ila 18 Epok sayısı aralığında gerçekleştirildi (Tablo 1).

Obruk ve çevresinin fotoğrafları ilk olarak uçuş planlaması yapılarak çekildi. Uçuş planlaması, Pix4D şirketinin Android işletim sistemi için ürettiği Pix4D Capture uygulaması ile oluşturuldu. Uçuş, belirlenen çalışma alanı üzerinde enine ve boyuna %80 bindirme oranına ve 30 m yüksekliğe göre oluşturulan uçuş planına göre gerçekleştirildi (Resim 5). Fotoğraflar kamera eksenini düşey konumda iken çekilmiş olup 533 adettir.

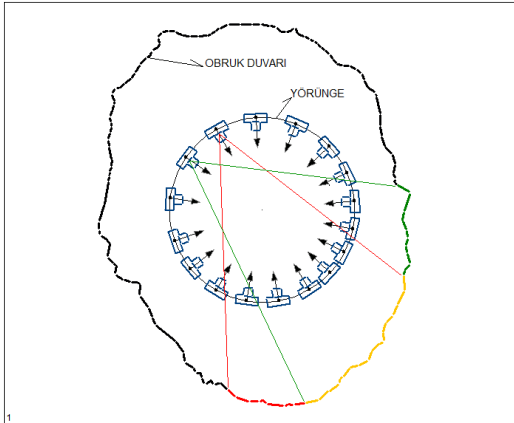


Resim 5. Pix4D Capture ile Uçuş Planlaması

Ne var ki, havadan çekilen fotoğraflar obruğun modelini oluşturmak için tek başına yeterli olmadığından obruğun duvarlarının da fotoğrafları çekildi. Çalışmamızda bu görüntülerin elde edilmesinde iki farklı yöntem kullanıldı. İlkinde hava aracı, obruğun içinde bir yörüngede hareket ederken yörüngeye merkezine bakacak şekilde fotoğraf çekilmiştir (Şekil 3). İkincisinde ise aynı yörünge merkezinin tersi istikametine bakacak şekilde fotoğraf çekilmiştir (Şekil 4).

NOKTA NO	Oturum Zamanı (UTC)	Epok Sayısı	Veri Toplama Aralığı	Uydu Sayısı (GPS+GLONASS)	RMS (m)	PDOP	Tam Sayı Belirsizlik Çözüm Durumu	Mountpoint (VRS/KFKP/MAC) TUSAGA-Aktif Sistemi Yayın Bağlantı Noktası	Anten Yükseklik Okuması	Kesin Koordinat(ITRF-TM 3°33' E)		
										Sağa Değer (Y) (m)	Yukarı Değer (X) (m)	Elipsoid Yüksekliği (h) (m)
1	21 01 2017 13:15:38	13	1	10	0.019	1.600	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590496.313	4035785.591	523.731
2	21 01 2017 14:09:34	8	1	14	0.026	1.300	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590496.806	4035711.999	518.971
3	21 01 2017 13:46:42	12	1	12	0.026	1.400	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590530.789	4035686.305	514.772
k1	21 01 2017 13:48:21	12	1	12	0.021	1.400	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590544.908	4035661.431	514.506
4	21 01 2017 13:49:19	12	1	12	0.019	1.400	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590555.655	4035658.587	514.509
5	21 01 2017 13:50:04	17	1	12	0.019	1.400	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590585.224	4035646.719	516.588
6	21 01 2017 13:52:24	18	1	12	0.026	1.400	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590629.683	4035676.255	519.013
7	21 01 2017 13:54:03	15	1	12	0.020	1.400	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590643.810	4035728.478	519.066
8	21 01 2017 13:57:55	9	1	13	0.025	1.300	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590617.043	4035815.222	523.679
9	21 01 2017 14:00:16	12	1	13	0.033	1.300	NetworkFix	RTCM RTK	2.000	590556.015	4035837.676	525.712

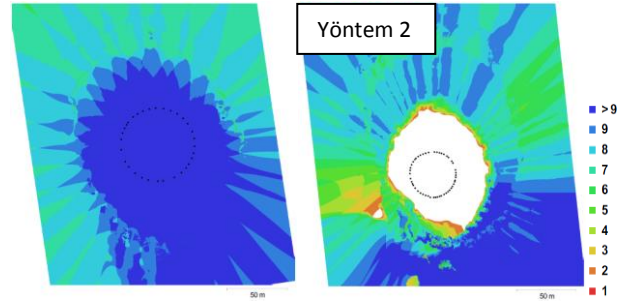
Şekil 3'te görüleceği üzere 1. Yöntemde, hava aracının konumu ve bakış doğrultusu Yöntem 1'de obruk yüzeyinde daha geniş bir alanın görüntüsünü elde edebilmektedir. Böylece daha geniş model alanlar oluşturulabilmektedir. Ancak 2. Yönteme göre görüntülenecek alana olan uzaklığın fazla olması görüntü kalitesinin düşük olmasına sebep olabilmektedir. İlk yöntemde Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) 2.64 cm/pix, 2. Yöntemde YÖA 1.80 cm/pix olarak hesaplanmıştır. 1. Yöntemde 32 fotoğraf çekilmiştir.



Şekil 3. Kamera'nın Yörünge Merkezine Yöneltilerek Görüntü Elde Edilmesi (1. Yöntem)

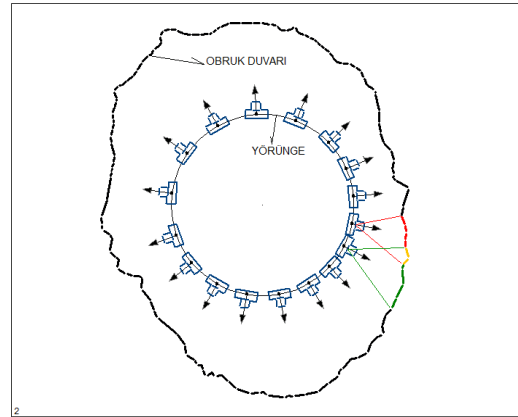
Şekil 4'te görüleceği gibi yörünge merkezinin tersi istikametine yöneltilen kameradan elde edilen görüntüler obruk yüzeyinde diğer yönteme göre daha az alanı kapsamaktadır. Dolayısıyla daha geniş model alan oluşturabilmek için fotoğrafların sık aralıklarla çekilmesi gerekmektedir. 2. Yöntemde 50 fotoğraf çekilmiştir. Bu çalışmada 1. Yöntemde görüntü bindirme miktarı 2. Yönteme göre daha

fazladır (Şekil5).



Şekil 4. Görüntü Bindirme Miktarı

Fotoğraflar DJI Go uygulamasında "Orbit Mode – Yörünge Modu" kullanılarak çekilmiştir.



Şekil 5. Kamera'nın Yörünge Merkezinin Tersine Yöneltilerek Görüntü Elde Edilmesi (2. Yöntem)

SfM; bir nesnenin veya bir sahnenin farklı bakış açılarından alınan görüntü setlerinden, kamera parametreleriyle birlikte sahnenin 3B yapısını tahmin ederek oluşturmayı hedefleyen algoritmadır (Dellaert vd, 2000; Furukawa ve Hernández, 2013). Çalışmamızda, obruğun

yüzeyinin fotoğrafları, tek bir kamera ile farklı bakış açılarına hareket ettirmek suretiyle çekilerek görüntü setleri elde edildi. Bu görüntü setleri ve hava fotoğrafları Agisoft PhotoScan yazılımında yöneltme işlemine tabi tutularak obruk yüzeyinin 3B modelinin tahmini şekli seyrek nokta bulutu ile oluşturulmuştur. Bu aşamayı takiben YKN'lerin koordinatları yazılıma aktarıldı ve YKN'leri içeren bütün fotoğraflar eşleştirildi. Bu eşleştirme işlemiyle iç yöneltme elemanları, kamera kalibrasyon bilgileri, distorsiyon hataları vs. hesaplandı.

Çözünürlük <b>4000x3000</b>	Odak Uzaklığı <b>3.61 mm</b>	Pixel Boyutu <b>1.56x1.56 µm</b>	Ön Kalibrasyon <b>Yok</b>
Tip: Çerçeve	F: 2690.7		
Cx: 89.5944	B1: 6.26451		
Cy: 10.1249	B2: 3.07771		
K1: -0.132299	P1: 6.68311e-05		
K2: 0.112009	P2: 5.13768e-05		
K3: -0.019655	P3: 0		
K4: 0	P4: 0		

Tablo 2. Kamera Kalibrasyon Değerleri

YKN'ler için toplam karesel ortalama hata 1.63779 cm, doğruluk kontrolünde kullanılan noktanın karesel ortalama hatası 0.638845 cm olarak

hesaplanmıştır. Tablo 3'te görüntü pixel hatalarının verildiği kolonda o noktanın kaç fotoğrafta eşleştirildiği parantez içinde gösterilmiştir.

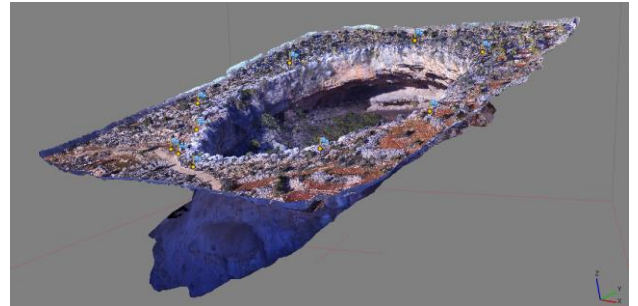
Tablo 3. YKN'lere ait Karesel Ortalama Hata

Nokta No	X hatası (cm)	Y hatası (cm)	Z hatası (cm)	Toplam (cm)	Görüntü (pix)
1	-0.411018	-2.1604	2.29433	3.17808	3.219 (23)
2	-0.287221	0.891863	-1.62929	1.87949	0.049 (7)
3	0.0816509	-1.23239	0.277798	1.26595	1.217 (11)
4	-0.467642	1.93074	-1.12628	2.28363	0.039 (7)
5	0.0324618	-0.0139791	-0.0185476	0.057723	0.010 (6)
6	0.428216	-0.336411	0.726805	0.908178	0.012 (6)
7	-0.245364	0.00173309	0.326627	0.408524	0.019 (6)
8	0.492029	0.317855	-0.322493	0.668674	0.031 (16)
9	0.559966	0.739175	-1.17844	1.49956	0.017 (89)
<b>Toplam</b>	<b>0.376691</b>	<b>1.129</b>	<b>1.12508</b>	<b>1.63779</b>	<b>1.682</b>

Tablo 4. Doğruluk Kontrol Noktasına ait Karesel Ortalama Hata

Nokta No	X hatası (cm)	Y hatası (cm)	Z hatası (cm)	Toplam (cm)	Görüntü (pix)
k1	-0.183008	-0.0941284	0.60479	0.638845	3.356 (7)
<b>Toplam</b>	<b>0.183008</b>	<b>0.0941284</b>	<b>0.60479</b>	<b>0.638845</b>	<b>3.356</b>

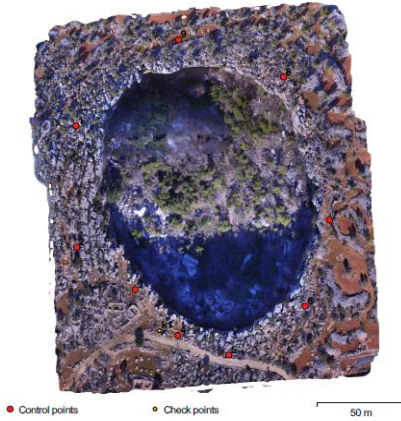
Oluşturulan seyrek nokta bulutu ve fotoğraflar bu yöneltme elemanları ile optimize edildikten sonra aynı fotoğraflardan yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Yoğun nokta bulutlarından SAM üretilerek, üzerine resim dokusu giydirilmiştir. Ardından yine yoğun nokta bulutu ile SYM elde edildikten sonra ortofoto görüntüsü oluşturulmuştur.



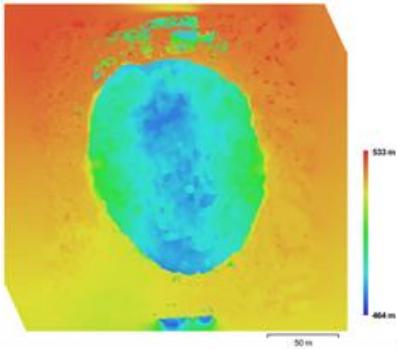
Şekil 6. Aşağı Dünya Obruğunun Sayısal Arazi Modeli

Üzerine resim dokusu giydirilmiş SAM'dan üretilen ortofotonun YÖA 1.37 cm/pixel'dir. SYM ise YÖA 11 cm/pixel olacak şekilde üretilmiştir. Bütün bunlara ilaveten SYM üzerinden eşyükselti eğrileri de

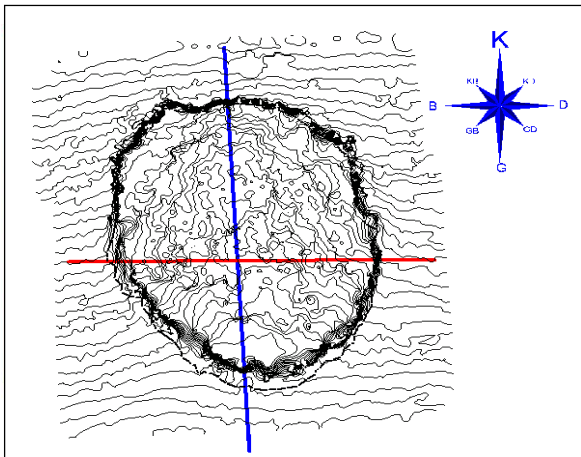
üretimiştir (Şekil 9). Bu çalışmada obruğun bir hat üzerinde profillerini oluşturmak için AgiSoft PhotoScan yazılımında elde ettiğimiz yoğun nokta bulutu 3Dsurvey yazılımında açabilecek şekilde import edildi. 3Dsurvey yazılımında açılan nokta bulutu üzerinden kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde olmak üzere iki nokta arasındaki hattın profili oluşturuldu.



Şekil 7. Ortofoto Görüntüsü



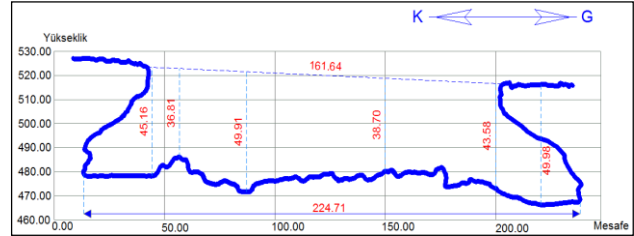
Şekil 8. Sayısal Yükseklik Modeli



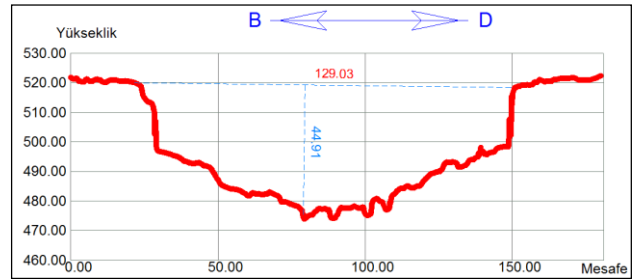
Şekil 9. Eşyüksekti Eğrileri ve Profil Hatları

Oluşturulan profiller üzerinden yapılan ölçümlerde

Aşağı Dünya Obruğunun ağzının en geniş olduğu yer yani Kuzey-Güney yönündeki mesafe yaklaşık 162 m, Doğu-Batı yönündeki mesafesi yaklaşık 130 m olarak hesaplanmıştır. Obruğun yüksekliği, en derin kısımdan ağza olan mesafesi ölçüldüğü takdirde yaklaşık 50 m'dir. Oluşturulan profile göre obruğun taban uzunluğu yaklaşık 225 m'dir (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10. Obruğun Kuzey-Güney Yönündeki Profili



Şekil 11. Obruğun Doğu-Batı Yönündeki Profili

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Mersin ili Silifke ilçesinde bulunan Aşağı Dünya Obruğunun döner kanatlı İHA ile farklı bakış açılarından çekilen fotoğraflarıyla 3B sayısal yüzey modeli oluşturulmuştur. Bu yüzey modelinin yanı sıra YÖA 1.37 cm/pixel ortofoto ve YÖA 11 cm/pixel SYM üretilmiştir. 3B modeli oluşturabilmek için yeterli görüntülerin toplanması yaklaşık 30 dakikada tamamlanmış olup YKN verilerinin tesis edilmesi ve ölçülmesiyle beraber arazi çalışması toplamda 1.5 – 2 saat gibi bir sürede tamamlanmıştır. Ancak her bir yörünge uçuşu için yaklaşık 15 dakika zaman harcanmıştır. Toplanan veriler AgiSoft PhotoScan programında işlenmiştir. Görüntülerin işleme süresi kullanılan donanıma doğrudan bağlıdır. Dolayısıyla daha kaliteli ürünler elde edebilmek için yüksek özellikteki donanıma sahip bilgisayar kullanmanın gerekliliği ortadadır. Bu çalışma sonucunda İHA'ların yüksek doğruluklu ürün sunmaları, ulaşılması zor alanların görüntülerini elde etmeleri, kısa sürede veri

toplama yeteneğiyle yüksek zamansal çözünürlüğe sahip oldukları görülmüştür. Bu açıdan İHA'ların, obruk gibi jeolojik yapıların modellenmesinde, fotogrametri tekniğine katkısı oldukça büyüktür. Bunların yanında İHA verilerinden tarihi kültür varlığı belgeleme çalışmaları, kaçak yapı analizi, hâlihazır harita, tarımsal çalışmalar yapılabilmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma için sağlamış olduğu teknik donanımdan dolayı Harita Mühendisi Raif Sabri Doğdu'ya ve arazi çalışmasındaki yardımlarından dolayı Harita Mühendisi Gizem Direk'e teşekkür ederim.

### 5. Kaynaklar

Chiang, K., Tsai, M., Chu, C., 2012. The Development of an UAV Borne Direct Georeferenced Photogrammetric Platform for Ground Control Point Free Applications. *Sensors* 12, no. 7: 9161-9180.

Dellaert, F., Seitz, S. M., Thorpe, C. E., Thrun, S., 2000. Structure from Motion without Correspondence. *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2000 (Cat. No. PR00662)*, Hilton Head Island, SC, pp. 557-564 vol.2. doi: 10.1109/CVPR.2000.854916

Fischer, M. P., Keating D. P., 2005. Photogrammetric Techniques for Analyzing Displacement, Strain and Structural Geometry in Physical Models: Application to the Growth of Monoclinial Basement Uplifts. *GSA Bulletin*, 117(3-4), pp. 369-382.

Furukawa, Y., Hernández, C., 2013. Multi-View Stereo: A Tutorial. *Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision*, vol.9, no. 1-2, pp. 1-148.

Kaufmann, E. J., 2007. Sinkholes, *U. S. Geological Survey*.

Kolzenburg, S., Favalli, M., Fornaciai, A., Isola, I., Harris, A. J. L., Nannipieri, L., Giordano, D., 2016. Rapid Updating and Improvement of Airborne LIDAR DEMs Through Ground-Based SfM 3-D Modeling of Volcanic Features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.54, No. 11, pp. 6687-6699.

Nazik, L., Tuncer, K., 2010. Türkiye Karst Morfolojisinin Bölgesel Özellikleri. *Türk Speleoloji Dergisi*, Sayı 1.

Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.

Öztürk, M. Z., Şimşek, M., Utlu M., 2015. Tahtalı Dağları (Orta Toroslar) karst platosu üzerinde dolin ve uvala gelişiminin CBS tabanlı analizi. *Türkiye Coğrafya Dergisi*, 65, s. 59-68.

Peterson, E., Klein, M., Stewart, R., 2015. Whitepaper on Structure from Motion (SfM) Photogrammetry: Constructing Three Dimensional Models from Photography. *U. S. Department of the Interior Bureau of Reclamation Research and Development Office Science and Technology Program Final Report*, ST-2015-3835-1.

Sür, A., 1994. Karstik Yerçekilleri ve Türkiye'den Örnekler. *Ankara Üniversitesi Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, Sayı: 3, s. 1-28.

Yakar, M., 2011. Using Close Range Photogrammetry to Measure the Position of Inaccessible Geological Features. *Experimental Techniques*, 35, pp. 54-59.

Zhu, J., Taylor, T.P., Currens, J.C., and Crawford, M.M., 2014. Improved karst sinkhole mapping in Kentucky using LiDAR techniques: a pilot study in Floyds Fork Watershed. *Journal of Cave and Karst Studies*, v. 76, no. 3, pp. 207-216.

1-<http://www.dji.com/phantom-3-standard/info#specs>., (03.04.2017)

2-  
[http://geomaticsgroup.com/upload/urunler/gnss/cors-rtk-gnss/sp80/Spectra\\_Precision\\_SP80\\_Brosur\\_Tr.pdf.pdf](http://geomaticsgroup.com/upload/urunler/gnss/cors-rtk-gnss/sp80/Spectra_Precision_SP80_Brosur_Tr.pdf.pdf)., (03.04.2017)

3-<http://gpsworld.com/wp-content/uploads/2014/02/SP80-GNSS-Front-with-Antenna-Pole-W.jpg>., (03.04.2017)