

İHA FOTOGRAMETRİSİ İLE KAYA DÜŞME BÖLGELERİNİN 3-BOYUTLU MODELLENMESİ VE HARİTALANMASI

M. Yakar^a*, Y. Doğan^b, M. Ö. Çelik^a, A. Alptekin^a

^a Mersin Üniversitesi, Harita Mühendisliği, Yenişehir, Mersin, Türkiye –(myakar, mozgurcelik, aydinalptekin)@mersin.edu.tr

^b Mersin Üniversitesi, Teknoloji Transfer Ofisi, Yenişehir, Mersin, Türkiye

ANAHTAR KELİMELER: Kaya düşmesi, İHA, Fotogrametri, 3B model, Nokta bulutu, SAM, Ortofoto.

ÖZET:

Fiziksel veya kimyasal etkilerle bozulmuş veya parçalanmış, değişik boy ve çeşitteki kaya veya zemin parçalarının, kendiliğinden ya da depremler, aşırı yağışlar gibi harici etkilerle meyil aşağı hızla hareket etmesiyle meydana gelen kaya düşme olayları arazinin engebeli ve eğimli, bitki örtüsünün seyrek olduğu yamaçlarda görülür. Öyle ki bu tür eğimli ve engebeli arazilerde klasik yöntemle arazi ölçümü yapmak hatta ulaşmak bile mümkün değildir. Ancak bu tür yerlerin detaylı bir şekilde haritalanması ve 3-boyutlu modelinin üretilmesi hayati öneme sahiptir. Bu ürünler risk analizi, afet simülasyonu ve 3-boyutlu afet analizleri gibi değerlendirmeler için birer altlık olarak son zamanlarda etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Ulaşılması ve üzerinden veri toplanması zor olan yerlerin insansız hava araçları ile görüntülerinin elde edilerek 3-boyutlu nokta bulutu ve sayısal arazi modeli oluşturulabilmektedir. İnsansız hava araçlarının bu kabiliyeti fotogrametri tekniği için mükemmel bir fırsat olup üç boyutlu modelleme çalışmalarına hız kazandırmıştır.

Bu çalışma Mersin'in Karahıdırlı köyü merkezine yakın tepelerinde bulunan dağlık, engebeli ve kayalık arazide gerçekleştirilmiştir. Kaya düşme olaylarının meydana geldiği bu bölge yerleşim alanlarına oldukça yakın olup, hemen altından geçen yol ise özellikle yakınlardaki bir maden ocağından malzeme taşıyan kamyonların yoğun olarak kullandığı bir yoldur. Bu yüzden bu bölgenin gerekli analizler için hızlı bir şekilde modellenmesi ve haritalandırması bir ihtiyaç haline almıştır. Bu amaçla söz konusu bölgede İHA ile görüntüler toplanmış ve görüntüler 3-boyutlu modelleme yazılımlarında işlenerek nokta bulutu, sayısal arazi modeli, ortofoto ve vektör harita gibi ürünler oluşturulmuştur.

KEY WORDS: Rockfall, UAV, Photogrammetry, 3D model, Point Cloud, DTM, Ortophoto

ABSTRACT:

Rock or ground fragments, which are damaged or fragmented by physical or chemical effects, rock or ground fragments of different lengths and types see on the slopes with uneven and sloping vegetation coverings. It is not even possible to reach the land on such sloped and rugged terrain with the classical method. However, it is important to map detailed these lands and to the product 3D model these places. These products have been effectively used recently to jeopardy analysis, disaster simulations and 3D calamity analyses as a basis. 3D point cloud and digital terrain model can be created by obtaining unmanned airborne vehicles and images that are difficult to reach and data collection. This capability of unmanned aerial vehicles is an excellent opportunity for photogrammetry and accelerated 3D modelling studies. This study was carried out in mountainous, rugged and rocky terrain in the hills near the centre of Karahıdırlı village of Mersin. This region where rock fall events occur is quite close to the residential areas, and the road just below is a road which is used intensively by trucks carrying material from a nearby mine. For this reason, the rapid modelling and mapping of this region for the necessary analyses has become a necessity. For this purpose, images have collected with the UAV in this region and the images were processed in 3D modelling software and products such as point cloud, digital terrain model, orthophoto and vector map have formed.

1. GİRİŞ

Kaya düşmesi; kaya yuvarlanmaları değişik büyüklükteki taş veya kaya parçalarının hareketi şeklinde ifade edilmektedir (Berger vd., 2002). Kayalık bir yamaçtan veya gevşek materyalden kopan taş veya kaya parçalarının düşmesi, yuvarlanması olarak tanımlanmaktadır (Bulut, 2016). Başka bir ifadeyle, eğimli yamaçlarda bulunan büyük kaya bloklarının, dış olayların etkisiyle düşmesi olayıdır. Kaya düşmeleri; deprem, sel, heyelan gibi doğal afetlerle, kayaların çürümesiyle ve

zamanla kayaların desteksiz kalmasıyla meydana gelmektedir. Kaya düşmesi genellikle dağlık, taşlık ve engebeli alanlarda olmaktadır. Yerleşim yerlerini, alt-üst yapı tesislerini, insan hayatını ve doğal yaşamı olumsuz etkilemektedir. Yeryüzünün yaklaşık %24'ü (35,4 milyon km²) dağlık alanlardan oluşmakta ve ormanların yaklaşık %28'i (9 milyon km²) bu alanlarda bulunmaktadır (Price ve Butt, 2000). Dünya nüfusunun %10'u dağlık bölgelerde yaşamaktadır (Ives vd., 1997; Butt ve Price, 1999). Ülkemiz de dağlık bir coğrafyaya sahip olup ortalama yükseklik 1132 m'dir (Bulut, 2016). Avrupa'nın ortalama

* Corresponding author. This is useful to know for communication with the appropriate person in cases with more than one author.

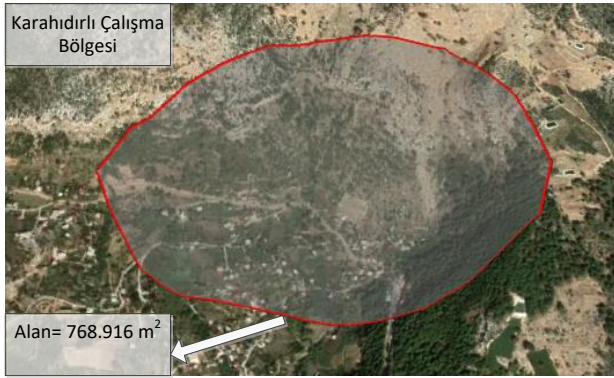
yüksekliğinden (330 m) ve Asya'nın ortalama yüksekliğinden (1050 m) daha fazla yüksekliğe sahiptir (Bulut, 2016). Bu etkenlerden dolayı kaya düşmelerinin sebeplerinin tespit edilmesi ve gerekli tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Kaya düşmesine karşın alınacak önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Ağaçlandırma çalışmaları; ağaçlar, ormanlar düşen kayaların hızlanmasını engellemede ve durdurmada etkin rol oynamaktadır.
- ✓ Kaya patlatma; risk oluşturan kaya veya kayaların belirlenmesiyle patlatılması gerekmektedir.
- ✓ Bariyer-hendeklerin kurulması; yerleşim bölgesine veya riskli alanlara kayaların zarar vermesini engellemede kullanılabilir.
- ✓ Risk haritalarının oluşturulması; kaya düşmesi riski altında bulunan yerleşim yerlerinin risk haritasının oluşturulması, arazinin modellenmesi son derece önemlidir. Düşme riski bulunan kayaların tespit edilmesi, kayaların potansiyel düşme hızlarının belirlenmesi ve buna bağlı önlemlerin alınması açısından haritaların oluşturulması gereklidir (Heidenreich, 2004).

Bu çalışmada Mersin/Karahıdırlı köyünde kaya düşmesi meydana gelmesi sebebiyle kaya düşmesi risk haritasının oluşturulması ve arazinin 3B modellenmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, çalışma bölgesine ait görüntüler İHA aracılığıyla toplanmıştır. Elde edilen uçuş görüntüleri 3B modelleme yapabilen yazılımda işlenmiş ve araziye ilişkin 3B model, nokta bulutu, Sayısal Arazi Modeli (SAM), ortofoto ve vektör harita elde edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı olarak seçilen Karahıdırlı köyündeki kaya düşmesinin gerçekleştiği alanın Mersin il merkezine uzaklığı yaklaşık 49 km, Erdemli ilçe merkezine mesafesi ise yaklaşık 21 km'dir. Çalışma boyunca bu bölgedeki kaya düşmesinin haritalandırılması ve arazinin 3B modellenmesi yapılmaya çalışılmıştır.



Şekil 1. Karahıdırlı çalışma bölgesi

Ülkemizin ortalama yüksekliği (1132 m (Bulut, 2016) fazla olması, arazi yapısının değişken olması ve bazı bölgelerimizde yoğun yağışların gerçekleşmesi sebebiyle kaya düşmeleri gözlenmektedir. Çalışma alanı olan Karahıdırlı köyünde de sağanak yağışların olması kalkerli yapıya sahip bölgede kaya düşmelerine sebep olmuştur. Araştırmada mevcut kaya düşmesinin tespit edilmesi, kaya düşmesi risk haritasının oluşturulmasıyla gerekli önlemlerin alınması hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Karahıdırlı köyünde meydana gelen kaya düşmesinin boyutlarını tespit etmede, risk haritasının oluşturulması için gerekli olan görüntülerin elde edilmesinde DJI Phantom 3 Standard İHA kullanılmıştır. Araziye ait 3B modelin oluşturulmasında, SAM'ın elde edilmesinde ve ortofotonun üretilmesinde, sayısal fotoğrafları görüntü işleme teknikleriyle işleme yetisine sahip ve 3B modelleme yazılımı olan Agisoft PhotoScan programı tercih edilmiştir.

Genel	Performans	Kamera	Pil
Boyut 590mm	Azami hız 16m/s	Çözünürlük 12MP (4000*3000)	Tür Lityum polimer
Ağırlık 1.2kg	Max. Yükseklik 6000m		Kapasite 4480mAh
	Uçuş süresi Max. 25 dakika		Maksimum Şarj Güç 100 W

Tablo 1. Çalışmada kullanılan İHA'nın özellikleri (DJI, 2019)

3.2 Yöntem

Dağlık, engebeli ve yamaç arazilerde; toprağın suyu emmesi, suyun toprak içerisinde hareket etmesi, nem, kayalardaki ani iç sıcaklık değişimleri, donma, çözülme, yükselti, bakı (Matsuoka ve Sakai, 1999; Marquinez vd., 2003; Berger vd., 2002; Le Hir vd., 2004), jeolojik ve jeomorfolojik etkenler (Matsuoka ve Sakai, 1999; Marquinez vd., 2003) gibi nedenlerden dolayı kaya veya taş düşmeleri meydana gelmektedir. Başka bir ifadeyle aşırı yağış, donma ve çözülme gibi etkenler kayaların parçalanmasına ve yamaçlardan düşmesine sebep olmaktadır (Perret vd., (2004). Kaya düşmesini doğrudan etkileyen en önemli sebep sudur (Bulut, 2016). Yağmur, donma, çözülme, karların erimesi vb. doğal olaylarla toprak yumuşamakta ve kayaların düşmesine yol açmaktadır. Ayrıca kaya veya büyük taş kütlelerinin yüzeylerinde barındırdığı boşluklara suların girmesi bitki veya ağaçların yetişmesine sebebiyet vermektedir. Bu da bitki köklerinin kayaların yapısını bozmasına ve parçalanmasına neden olmaktadır. Kayaların düşmesini etkileyen diğer önemli hususlar ise deprem ve heyelandır (Bulut, 2016).

Kaya düşmesinin gerçekleşmesi veya düşme potansiyelinin olması nedeniyle bu durumun meydana gelmesine neden olan etkenlerin belirlenmesi ve alınacak tedbir yöntemleri farklılık göstermektedir. Genel anlamda 8 başlık altında toplamak mümkündür.

Önlem Yöntemi	Amaç
Ağaçlandırma çalışmaları	Düşen kaya veya taşların yıkıcı etkisini azaltmak, durdurmak, kayaların yerleşim bölgelerine ulaşmasını engellemek
Şev kenarlarına örülen teller veya duvarlar	Yollara zarar gelmesini önlemek
Perdeli ağ gerilmesi	Şevden düşecek kayaların yola gelmesini önlemek
Bariyer-hendek sistemi	Yerleşim bölgesine veya riskli alanlara kayaların zarar vermesini engellemek
Yüzey güçlendirme	Yol ve binaları korumak
Zemin çivisi	Şevin genel durumunu korumak
Kaya patlatma	Riskli alanlarda kayaların belirlenmesiyle patlatmak
Risk haritaları	Kaya düşmesi riski altında bulunan yerleşim yerlerinin risk haritasının oluşturulması ve arazinin modellenmesi

Tablo 2. Kaya düşmesine karşın alınacak önlem yöntemleri

Bu çalışmada kaya düşmesinin Karahıdırlı köyünde yerleşimi olumsuz etkilemesi, bölge insanlarını tehdit etmesi ve köye yakın olan maden sahası yolunun kamyonlar tarafından yoğun şekilde kullanılması nedeniyle bölgede gerekli analizler hızlıca yapılmıştır. İHA ile görüntüler toplanmış, görüntüler 3B modelleme yazılımında işlenmiştir. Bunun sonucunda nokta bulutu, SAM, ortofoto ve risk haritası oluşturulmuştur.



Şekil 2. Karahıdırlı köyü kaya düşmesi

İHA, Uzaktan Algılama Yöntemine dayalı olarak uzaktan kumanda veya bir uçuş planına göre uçuş gerçekleştirebilen insansız araçlardır. Çalışmada kaya düşmesinin tespit edilmesinde ve risk haritasının oluşturulması için gerekli olan görüntülerin elde edilmesinde DJI Phantom 3 Standard İHA kullanılmıştır. 162 fotoğraf 12 MP kamerayla farklı açılardan ve belirli aralıklarla tüm çalışma alanını kapsayacak şekilde çekilmiştir.

Çalışma bölgesinin etrafına eşit dağılacak şekilde yer kontrol noktaları (YKN) işaretlenmiştir.



Şekil 3. Yer Kontrol Noktaları (YKN)

İşlemler YKN olmadan da hassas şekilde yapılabilmesine rağmen YKN'lerin olması arazi hakkında daha güvenilir bilgi edilmesini sağlamaktadır.

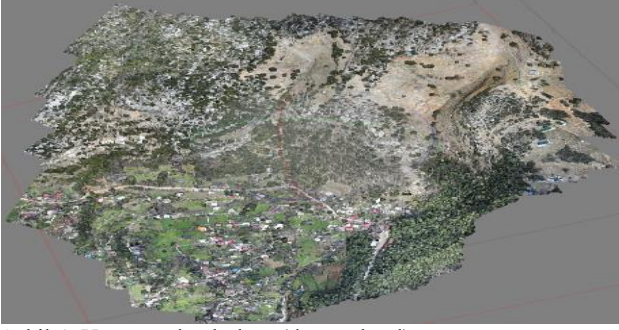
Kaya düşmesinin olduğu bölgenin fotoğrafları Pix4D şirketinin ürettiği Pix4D Capture uygulaması ile oluşturulan uçuş planına göre çekilmiştir. Uçuş planında enine ve boyuna bindirme %80 ve uçuş yüksekliği 373m olarak ayarlanmıştır. Fotoğraflar kamera eksenini düşey konumdayken çekilmiştir.

Elde edilen görüntüler ile birlikte araziye ait 3B modelin ve risk haritasının oluşturulmasında Agisoft PhotoScan programı kullanılmıştır. Görüntülere programda yöneltme işlemi yapılmıştır. 3B modelinin tahmini şekli seyrek nokta bulutu ile oluşturulmuştur. YKN'leri içeren bütün fotoğraflar eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme işlemiyle iç yöneltme elemanları, kamera kalibrasyon bilgileri, distorsiyon hataları vs. hesaplanmıştır.

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1
F	4394.67	0.037	1	0.15	-0.44	-0.23	0.20	-0.15	0.02
Cx	-26.7579	0.029		1.00	-0.14	0.03	-0.03	0.04	0.92
Cy	4.5213	0.025			1.00	-0.03	0.01	-0.01	-0.09
K1	0.0412297	4e-005				1.00	-0.97	0.91	0.02
K2	-0.261661	0.0009					1.00	-0.98	-0.02
K3	0.382716	0.00027						1.00	0.02
P1	-0.00170087	2.3e-006							1.00

Tablo 3. Kamera kalibrasyon bilgileri

Daha sonra yoğun nokta bulutu oluşturulmuştur. Yoğun nokta bulutlarından SAM üretilmiş ve üzerine resim dokusu giydirilmiştir.



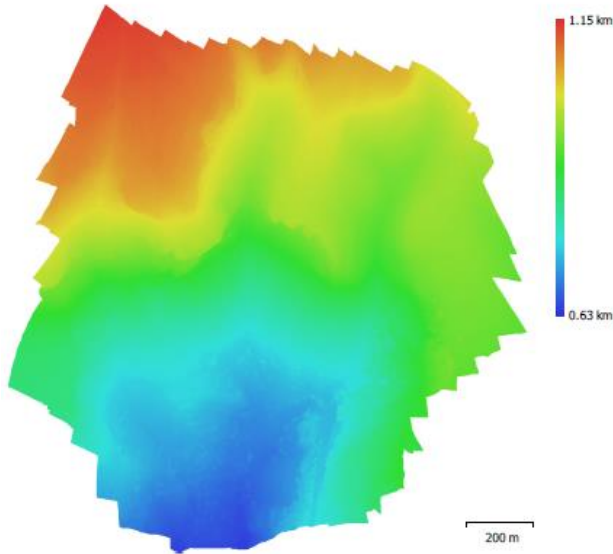
Şekil 4. Yoğun nokta bulutu (dense cloud)

Ardından SYM elde edildikten sonra ortofoto görüntüsü oluşturulmuştur. Ortofotonun Yer Örnekleme Aralığı (YÖA) 8,27 cm/pikseldir.



Şekil 5. Ortofoto

SYM'nin ise YÖA 33,1 cm/pikseldir.

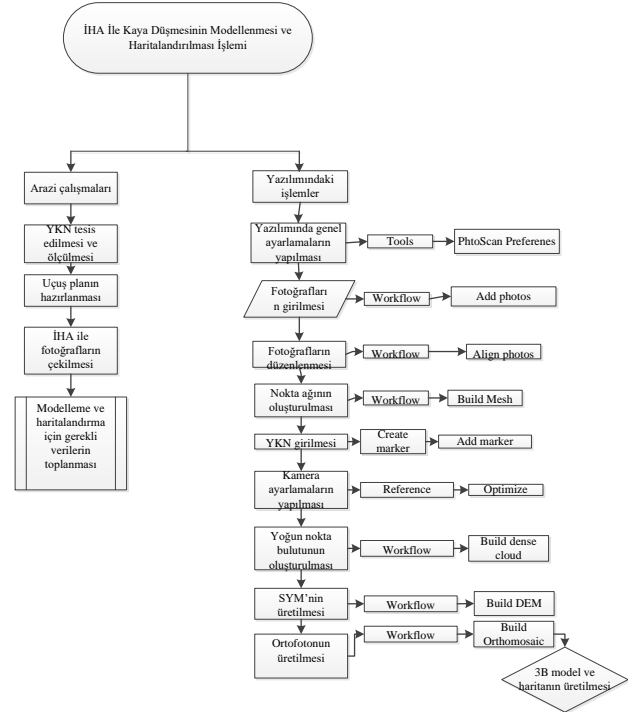


Şekil 6. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Bu çalışmada 3B model üretmek için fotogrametrik yaklaşım tercih edilmiştir. Structure from-Motion (SfM) olarak da ifade edilmektedir (Dellaert vd., 2000; Furukawa ve Hernández, 2013). Birçok görüntünün özellikleri otomatik olarak algılanıp eşleştirildikten sonra noktaların üçgenlenmesiyle 3B model

üretilmesine katkı sağlamaktadır (Yakar ve Doğan, 2017), Doğan, 2017). Multiview Stereo (MVS) olarak da adlandırılmaktadır (Peterson vd., 2015). Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle beraber SfM ve MVS fotogrametrik yaklaşımları çekilen fotoğraflar aracılığıyla arazinin modellenmesi ve haritalandırılmasında önemli rol oynamaktadır (Kolzenburg vd., 2016). Özellikle dağlık, engebeli ve karmaşık yerlerin modellenmesinde etkindir. Çalışmada da SfM algoritmasını kullanan AgiSoft PhotoScan programı ile kaya düşmesi olan Karahıdırlı köyünün seyrek nokta bulutu, yoğun nokta bulutu, SAM, SYM ortofoto ve risk haritası oluşturulmuştur.

Bu ürünlerin elde edilebilmesi için programda gerekli işlem adımları aşağıdaki gibidir.



Şekil 7. Çalışmanın iş akış şeması

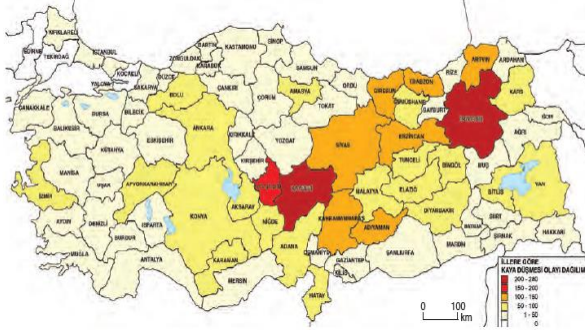
4. BULGULAR

Çalışma bölgesi olan Karahıdırlı köyünün dağlık ve engebeli bölümünde kaya düşmesinin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu olayın gerçekleşmesinde bölgede yoğun yağışların ve arazinin kalkerli yapıda olması etkin olmuştur. Ayrıca küçük çalı, bitki veya ağaç köklerinin zamanla yağmur suyunun etkisiyle birlikte kayaların yüzeyinde bulunan boşlukları genişletmiştir. Bunun sonucu olarak da kayaların sert yapısının gevşemesine, parçalanmasına ve nihayetinde düşmesine yol açtığı belirlenmiştir.

Kaya düşmesinin ve bu olayı meydana getiren etkenlerin tespit edilmesiyle çalışma alanında kaya düşmesi risk haritasının oluşturulması, arazinin 3B modellenmesi gerektiği yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir.

Ülkemizin genel anlamda yüksek olması (ortalama yükseklik 1132 m'dir (Bulut, 2016), bazı bölgelerimizde yağışların etkin olması, toprak yapısının değişken olması, deprem, sel vb. doğal afetlerin etkisiyle kaya düşmeleri gerçekleşmektedir. Ülkemizde 1950-2010 yılları arasında 2956 kaya düşmesi gerçekleşmiştir

(AFAD, 2010; Coğrafya Bilimi, 2017). Bu olaylardan 19.422 kişi etkilenmiştir (AFAD, 2010; Coğrafya Bilimi, 2017). 279 olayla ve 2934 afetzede ile kaya düşmesinden en çok etkilenen il Kayseri olmuştur (AFAD, 2010; Coğrafya Bilimi, 2017).



Şekil 8. Türkiye geneli kaya düşmesi haritası (AFAD, 2010)

Çalışma bölgesi Karahıdırlı köyünde sağanak yağışların etkili olması, kayaların kireçli olması kaya düşmelerinin gerçekleşmesine sebep olmuştur. Çalışmada kaya düşmesinin nedenleri tespit edilmiştir. Bölgenin 3B modeli ve haritası oluşturulmuştur.

5. SONUÇ

Çalışma alanı olarak seçilen kaya düşmesinin gerçekleştiği Karahıdırlı köyü Mersin il merkezinin yaklaşık 49 km kuzey batısında, Erdemli ilçe merkezinin ise yaklaşık 22 km kuzey doğusundadır. Bu çalışmada bölgede meydana gelen kaya düşmesinin nedenleri irdelenmiş, arazinin döner kanatlı İHA (Yakar ve Doğan, 2017) ile yaklaşık 77 hektarlık alan farklı açılardan bindirmeli olarak çekilen fotoğraflar ile Sayısal Arazi Modeli oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra YÖA 8.27 cm/piksel ve YÖA 33,1 cm/piksel SYM üretilmiştir. Arazi yapısının engebeli, dağlık olması, kaya düşmesi olan bölgeye ulaşım yolunun bulunmaması ve çalışma yapılacak alanın göreceli büyük olması nedeniyle farklı günlerde ölçümler yapılmıştır. Toplamda arazi çalışmaları 20 günde, 1,5-2 saatlik uçuşlar ile tamamlanmıştır. Ancak her bir uçuş için yaklaşık 15 dakika zaman harcanmıştır. Toplanan veriler Agisoft PhotoScan programında işlenmiştir. Bu çalışma sonucunda İHA'lar ile yüksek doğrulukta ve hassasiyette veriler elde edilebilmekte olduğu, ulaşılması güç alanların görüntülendirilmesinde kullanılabilirliği ve az zamanda ölçümlerin yapılabilirliği görülmüştür. Bunda dolayı İHA'ların kaya düşmesi olaylarında kullanılabilirliği ve arazinin modellenmesi için gerekli verilerin üretilmesinde etkin rol alacağı düşünülmektedir.

Kaya düşmesi meydana gelen bir yerde;

- ✓ Arazinin ve kayaların jeolojik yapısının incelenmesi
- ✓ Gerçekleşme nedeni ve tedbirlerin belirlenmesi
- ✓ Bölge risk haritasının oluşturulması önerilmektedir.

TEŞEKKÜRLER

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıları bulunan Mersin Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'ne (AFAD) teşekkür ederiz.

REFERENCES

AFAD web sitesi, 2010. Türkiye'de kaya düşmesi ile ilgili sayısal veriler, Ankara <https://www.afad.gov.tr/> (11 Nisan 2019).

Berger, F., C. Quétel ve L.K.A. Dorren, 2002. Forest: Anatural protection mean against rockfalls, but with efficiency? International Congress Interpraevent 2002 in the Pasific Rim, Conference proceedings, Vol. 2, Matsurnoto, Japan.

Bulut, İ., 2016. Kaya Düşmesi / Taş Ve Kaya Yuvarlanmaları Türkiye Durumu, Nedenleri, Önlemleri Orman İle İlişkisi. T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü, Ankara http://www.cem.gov.tr/erozyon/Libraries/cemDocument/TasvKaya_Yuvarlanmasi_ismailBulut.sflb.ashx (12 Nisan 2019).

Butt, N. ve Price, M. F., 1999: Mountain people, forests, and trees: strategies for balaneing local management and outside iriteresr. Synthesis of an Electronic Conference of the Mountain Forum. April 12-May 14, 1999.

Coğrafya Bilimi web sitesi, 2017. Türkiye'de kaya düşmesi ile ilgili sayısal veriler, <http://www.cografyabilimi.gen.tr/bize-ulasin/> (11 Nisan 2019).

Dellaert, F., Seitz, S. M., Thorpe, C. E., ve 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

DJI web sitesi, 2019. Phantom 3d standard bilgi <https://www.dji.com/phantom-3-standard> (10 Nisan 2019).

Ives, J.D., Messerli, B., ve Spiess, E., 1997. Mountains in the World: A Global Priority. Carrnforth-Parthenon

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

Marquinez, R., Duarte, R.M., Farias, P., ve Sanchez, M.J., 2003. Predictive GIS-based model of rockfall activity on mountain cliffs. Natural Hazards. 30(3):341-360.

Matsuoka, N., ve Sakai, H., 1999: Rockfall activity from an alpine cliff during thawing periods. Geomorphology. 28:309-328.

Le Hir, C., Berger, F., Dorren L.K.A., ve Quétel, C., 2004. Forest: Anatural means of protection against rockfall, but how to reach sustainable mitigation? Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004. Riva/Trient.

Perret, S., Dolf, F, ve Kienholz, H., 2004. Rockfalls into forests: analysis and simulation of rockfall trajectories – considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. Landslides. 1:123-130.

Peterson, E., Klein, M., ve 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.

Price, M., ve Butt, N., 2000: Forests in Sustainable Mountain Development. IUFRO. Research Series No: 5

Yakar, M., ve Doğan, Y., 2017. Silifke Aşağı Dñnya Obruđunun İHA Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,17, ss. 94-101.