



## AÇIK MADEN OCAKLARINDA İNSANSIZ HAVA ARACI (İHA) KULLANIMI

Abdurahman Yasin YİĞİT<sup>1</sup>, Yunus KAYA<sup>2\*</sup>, Halil İbrahim ŞENOL<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Fotogrametri,  
Açık Maden Sahası,  
Hareket Tabanlı Yapısal  
Algılama,  
Hacim Hesabı,  
İnsansız Hava Aracı.

### Öz

Teknolojik gelişmelere paralel olarak son birkaç on yılda veri elde etme yöntemlerinde önemli bir gelişme olmuştur. Ancak dijitalleşmenin katlanarak gelişmesiyle birlikte veriler daha karmaşık hale gelmiş ve elde edilen verilerden anlamlı bilgilere hızlı bir şekilde ulaşmak önem arz etmeye başlamıştır. Günümüzde İnsansız Hava Araçları (İHA), maliyet, zaman ve iş güvenliği açısından avantajlı olması ve yüksek performanslı kamera, pil ve küresel konumlandırma sistemlerine sahip olması nedeniyle birçok disiplin tarafından farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. İHA ve modern fotogrametrik yöntemleri kullanan görüntü işleme yazılımlarının gelişmesi, açık maden işletme alanlarında harita ve 3 Boyutlu (3B) model üretimi çalışmalarına hız kazandırmıştır. Özellikle İHA ile zorlu arazi koşullarında kolay, hızlı, yüksek hassasiyetli ve ekonomik ölçümler yapılabilmektedir. Bu çalışmada, açık maden ocaklarında İHA tabanlı haritalama ile üretilen ortofoto haritalar ve Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) ile stok ve döküm hacmi belirleme ve ölçüm çalışmaları klasik yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada 0.13 km<sup>2</sup>'lik bir açık maden ocağı İHA'dan elde edilen görüntüler ile modellenmiştir ve kazı hacimleri hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında klasik hacim hesaplaması ile iki farklı yazılımda yapılan analiz sonucunda 0.98 ve 0.95 oranında doğruluk elde edilmiştir.

## USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) IN OPEN-CAST MINES

### Keywords

Photogrammetry,  
Open Mine Site,  
Structure from Motion,  
Volume Calculation,  
Unmanned Aerial Vehicle.

### Abstract

In parallel with technological developments, there has been a significant improvement in data acquisition methods in the last few decades. Today, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have started to be preferred by many disciplines for different purposes due to their advantage in terms of cost, time, and safety, and due to their rapidly shrinking and high-performance camera, battery, and global positioning systems. The development of image processing software using UAVs and modern photogrammetric methods has accelerated the production of maps and 3D models in open mining areas. Especially with UAVs, easy, fast, high precision and economical measurements can be made in difficult terrain conditions. In this study, orthophoto and Digital Elevation Models (DEM) produced by UAV-based mapping in open pits and stock and pile volume determination and measurement studies were compared with classical methods. In the study, an open-cast mine of 0.13 km<sup>2</sup> was modeled with images obtained from UAV and excavation volumes were calculated. Within the scope of the study, as a result of the classical volume calculation and the analysis made in two different software, an accuracy of 0.98 and 0.95 was obtained.

### Alıntı / Cite

Yiğit, A.Y., Kaya, Y., Şenol, H.İ., (2023). Açık Maden Ocaklarında İnsansız Hava Aracı (İHA) Kullanımı, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 225-235.

### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A.Y. Yiğit, 0000-0002-9407-8022  
Y. Kaya, 0000-0003-2319-4998  
H. İ. Şenol, 0000-0003-0235-5764

### Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.03.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	23.09.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	29.11.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

\* İlgili yazar / Corresponding author: yunuskaya@harran.edu.tr, +90-414-318-1855

## USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) IN OPEN-CAST MINES

Abdurahman Yasin YİĞİT<sup>1</sup>, Yunus KAYA<sup>2†</sup>, Halil İbrahim ŞENOL<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi, Faculty of Engineering, Department of Geomatics Engineering, Şanlıurfa, Türkiye

### Highlights

- UAV photogrammetric methods accelerate the production of maps in open mining areas.
- An open-cast mine of 0.13 km<sup>2</sup> was 3D modeled and excavation of stock volumes were calculated.
- SfM has a transformative impact on mine site surveys, fast, cost-effective and easy 3D measurements.

### Graphical Abstract



**Figure.** İHA fotogrametrisi ile üretilen dijital çıktılardan hacim hesabı  
(Volume calculation from digital outputs produced by UAV photogrammetry)

### Purpose and Scope

The aim of this study; The aim is to determine the current status and volumetric changes of the open pit mine by UAV and photogrammetric methods. In this context, high resolution orthophoto, DEM and 3D model of the mine were produced. Then, the volume calculations of the waste area were made. For the volume calculation, first the waste area was measured geodesically and the volume was calculated and the same waste area was calculated from the digital models produced by UAV photogrammetry.

### Design/methodology/approach

In this study, the UAV photogrammetry technique was preferred for monitoring and mapping the open pit mine. Analyzes were made on the digital outputs produced using UAV photogrammetry and the accuracy of the models obtained was examined. Then, the volume calculations of the waste area were made.

### Findings

Two different software were used for volume calculation. In both software, the point cloud is used as elevation data. The volume calculation was made with the classically measured points in the field and high accuracy was achieved by comparing them with both software.

### Practical Implications

As can be seen from the volume calculation results made in two different software, UAV photogrammetry can provide the expected accuracy, especially in open mine sites where the amount of excavation is high. For future studies, investigating the accuracy of the measurements to be made without establishing a GCP on the land will accelerate the process even more.

### Social Implications

The results of this study will be exemplary for government institutions that conduct continuous inspections of mining sites?

### Originality

Although UAV photogrammetry is a new approach in open pit mining areas, the comparison of different software in volume calculation is exemplary.

<sup>†</sup> Corresponding author: yunuskaya@harran.edu.tr, +90-414-318-1855

## 1. Giriş (Introduction)

Ülkelerin enerjiden sonraki temel gereksinim maddeleri endüstriyel kayaçlar ve minerallerdir. Türkiye yer altı ve yer üstü kaynakları bakımından zengin bir ülkedir ve yer üstü kaynaklarını oluşturan kayaçların maden ocakları işletmeleri ile çıkarılması ülke ekonomisi için önem arz etmektedir (İncekara vd., 2018). Açık maden sahalarında çıkarılan mermer, çakıl vb. ham maddeler bu kategoriye girmektedir. Madencilik sektörünün en önemli alt sektörü olan mermer sektörü de dünya ve Türkiye tarihinde değişik medeniyetlere damgasını vurmuş önemli bir yer altı kaynağıdır (Demir ve Güngör, 2013). Günümüzde mermer kullanım alanlarının çoğalması ile mermere olan talep gittikçe artmıştır. Mermer üretimi, genel madencilik sektörü içinde önemli bir yere ulaşmıştır (Yadigar vd., 2014).

Son yıllarda mermere olan talep ile mermer maden ocaklarında çalışmalar hız kazanmıştır. Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından yayınlanan verilere göre 2021 yılında faaliyette olan mermer ocağının da bulunduğu II(B) gurubu sayısı bir önceki yıla göre %127 artarak toplam 4647 adet olmuştur. Ayrıca MAPEG tarafından Türkiye’de madencilik faaliyetleri için arama ve işletme olarak iki adet ruhsat verilmekte olup mevcut durumda yaklaşık olarak toplam 14.721 adet açık maden sahasının işletme ruhsatı bulunmaktadır (URL-1). Bununla birlikte madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği maden ocağı için çalışma sınırları işletme ruhsatı ile belirlenmiş olup kazı çalışmalarının ilerlemesi, çıkarılan ham maddelerin biriktirilmesi ve taşınması, açık maden sahasını çevreleyen dış sınırın zaman içerisinde değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla mevcut çalışma sınırların kontrolü için açık maden sahalarında zamansal değişimin izlenmesi gerekmektedir (Paull vd., 2006; Erener, 2011). Ayrıca açık maden işletmesinin kapalı madenlere göre kazı miktarı çok daha fazla olması hafriyat maliyetinin çok yüksek olmasına yol açmaktadır. Bu doğrultuda harita üretimi amacıyla uygulanan geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilecek ölçmeler geniş ve çoğu zaman tehlikeli ve eğimli bir alana yayılan maden ocakları için zaman ve maliyet açısından dezavantajlı olabilmektedir. Bu gibi dezavantajları ortadan kaldırabilmek için görüntü tabanlı tekniklerle değişim tespitlerinin uygulanması önem arz etmektedir. Bu noktada da yöntemin ana materyali olan alana ait görüntülerin hızlı ve doğru bir şekilde toplanması gerekmektedir. İHA aracılığıyla toplanan yüksek çözünürlüklü görüntülerin fotogrametri yöntemiyle analiz edilebilecek hale gelmesi madencilik sektöründe özellikle altlık haritaların üretiminde ve hacim hesaplarının yapılmasında önemli bir yere sahiptir.

Madencilik endüstrisinde de özellikle açık işletme maden planlamasında; imalat haritalarının çıkarılmasında, basamak geometrilerinin ve stabilitesinin kontrolünde ve saha rehabilitasyon çalışmalarına kadar madencilik girişiminin her aşamasında halihazır haritalarının yapılması önemli bir işlem adımıdır. 2017 yılına kadar maden ocaklarının haritaları genellikle klasik jeodezik ölçümler ile yapılarak 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ile karşılaştırılarak yapılmaktaydı. Maden sahalarında harita uygulamaları, her ne kadar madencilik sektörünün en önemli unsurlarından biri olsa da bugüne kadar uygulamada birlik tesis edilmediğinden gerek ölçmede ve harita oluşturmada gerekse de kontrol sürecinde sorunlar yaşanmaktadır. 19 Aralık 2018 tarihinde sektördeki bu açığı kapatmak üzere MAPEG Harita Standartları yayınlanmıştır. Bu standartlar yersel ölçüm yöntemleri için yayınlanmış olsa da ilerleyen dönemlerde yayınlanacak olan İHA Sistemleri ile Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları’nın da temelini oluşturması bakımından önem arz etmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte haritacılıkta fotogrametrik yöntemle harita üretimi insan gücünden ve zamandan tasarruf edilmesinin yanında yersel ölçü yöntemlerine göre çok daha pratik olması nedenleriyle son yıllarda popüleritesini artırmış ve fotogrametrik harita üretimi madencilik sektöründe de kullanılmaya başlanmıştır. Kurumun veri kabul formatının netleşmesi hem harita üretiminde hem de kontrol sürecinde yaşanan sorunları ortadan kaldırılmak amacıyla yine MAPEG tarafından 2019 tarihinde İHA Sistemleri ile Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları yayınlanmış (URL-2) ve bununla birlikte sektör tarafından oluşturulan haritaların İHA ile üretiminin ve haritaların kurum tarafından kabul edilerek kontrole tabi tutulmasının önü açılmıştır.

Son zamanlarda İHA’ların kayda değer gelişimi gözlemlenmiş ve uygulamaları tarım, sanayi ve çevre yönetimi gibi birçok alanda gösterilmiştir. Bununla birlikte, madencilik endüstrisinde İHA teknolojisinin uygulanması potansiyel olmaya devam etmektedir. İHA’ların maden sahalarında kullanılmasının önü açılması ile İHA fotogrametrisi tekniği ile maden sahalarında yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Gül (2019) çalışmasında, açık işletmelerde İHA tabanlı haritalama uygulamalarının avantajlarını açıklamıştır. Bu kapsamda, İHA fotogrametrisiyle üretilen ortofoto haritalar, Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM), dekapaj ve üretim miktarı hesapları, stok ve döküm hacmi tespiti ve deformasyon ölçüm çalışmalarını sunmuştur. Kun ve Özcan (2019), hazırladıkları çalışmada, örnek bir maden sahasında gerçekleşen hacim, alan ve kabarma faktörü gibi, özellikle açık işletme madencilğinde planlama ve hesaplamalarda kullanılan bazı verilerin, İHA kullanımı ile hızlı ve güvenilir bir biçimde eldesini konu almışlardır. Çalışma sonucunda, ele alınan sahada klasik metotlarla yapılan hesaplamaları ile İHA’lar ile elde edilen verilerin, uyumlu ve birbirlerine oldukça yakın değerler verdiği saptanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmada, geleneksel metotlar ile kazı sonrası ölçülen hacim 86,77 m<sup>3</sup>, İHA ile yapılan ölçüm ve hesaplama sonucunda ise ölçülen Hacim 87,13 m<sup>3</sup> bulunmuştur. Bui vd. (2019) çalışmalarında, Vietnam’ın en büyük kömür ocaklarından biri olan Coc Sau açık ocak kömür madeninde iki yönlü ölçüm gerçekleştirmek için düşük maliyetli İHA tabanlı bir sistem kullanmışlardır. Düşük maliyetli İHA sistemi,

madencilik operasyonlarını optimize etmek için kullanılabilir veri çeşitlerini toplamak ve aynı zamanda atmosferik ortamı kontrol etmek için tasarlanmışlardır. Yer izleme istasyonuna iletilen görüntülere dayalı olarak büyük ölçekli üç boyutlu (3B) topografik haritalar başarıyla oluşturulmuştur. Bu çalışmadaki saha testi sonuçları, 3B haritalama için düşük maliyetli İHA'nın uygulanabilirliğini göstermektedir.

Günümüzde İHA'lar maden sahalarında, hassas ve kısa zamanlı alan ve hacim ölçümlerinin yapılmasında aktif halde kullanılmaktadır. Hacim ve alanlar hem yerinde hem de stok sahasında ölçülebilmekte bu sayede sonuçlar sağlıklı bir şekilde ortaya konabilmektedir. Özellikle İHA gibi modern taşıyıcı platformlar ve görüntüleme teknikleri kullanmadan maden sahasında ölçüm işleri geleneksel metotlar ile oldukça zor olmaktadır. Bir maden sahasındaki basamaklar ve stok alanlarında klasik yöntemler ile hassas bir ölçüm yapmak için en hızlı çözüm aracı CORS-RTK yöntemidir. Bu ölçüm yöntemi için iki GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcısı ile en az iki tane konu ile alakalı uzman operatöre ihtiyaç bulunmaktadır. Bir maden sahasının ölçümü için bölütleme yapmak yani bir parçasının ölçümünü yapmak teorik olarak uygulamada problemlere neden olmaktadır. Yani bir başka deyişle bir maden sahasının ölçümü söz konusu olduğunda genel bir haritası oluşturularak analizler ve hacim hesaplamaları yapılmaktadır. Maden sahalarının büyük alan kapladığı düşünüldüğünde CORS-RTK yöntemi ile ölçümü ve hacim hesabı için veri toplanması günler alabilmektedir. Ayrıca değerli cevherin çıkarıldığı alanlarda hacim hesabı yapılmasında en önemli nokta maden sahasındaki basamaklardır. Basamak sayısı arttıkça ölçüm için ayrılan zaman artacaktır. Değerli cevherin çıkarıldığı alan dışında pasa gibi alanların ölçümü ise maden sektöründe ayrı ölçümler olarak değil maden sahası ile bir bütün olarak ölçüldüğü için yine geleneksel metotlar ile zaman alıcı bir işlem olmaktadır. Ayrıca pasa alanlarının yükseltisi ve şevlerin durumu düşünüldüğünde yetersiz veya eksik veri toplanabilmektedir. Örneğin insan sağlığını riske atacak bir pasa alanı için klasik bir GNSS alıcısı ile ölçüm gerçekleştirmek için sık detay noktası toplanamayacak ve tam bir yükseklik modeli üretilemeyecektir. Bu durum hacim hesaplamasını olumsuz etkileyecektir. Bu durumlar ve maden sahasının bir bütün olarak ölçülmesi gerekliliği göz önüne alındığında İHA fotogrametrisi tekniği çeşitli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada olduğu gibi bir alanda uzman bir operatör, bir GNSS alıcısı ve İHA ile tüm maden sahasına ait detay verilerin arazide toplanması yaklaşık iki saat içinde tamamlanabilmektedir. Özellikle maden sahalarının yüksek eğimli ve ulaşılması zor kısımlara sahip olduğu düşünülürse İHA fotogrametrisi insan sağlığını riske atmaması açısından olumlu katkı sunmaktadır. Ayrıca klasik ölçüm yöntemleri ile arazinin durumuna bağlı olarak detay veri sıklığı beş metre aralıklara çıkmakta iken İHA fotogrametrisi ile üretilen yoğun nokta bulutunda santimetre sıklığında veri toplanabilmektedir. Ek olarak İHA fotogrametrisi ile üretilen dijital ürünler ile bir sonraki ölçümler için altlık olması amacıyla yüksek çözünürlükte ortofotolar ve yükseklik modellerinin kullanılması devlet ekonomisi için önem arz etmektedir. İHA fotogrametrisindeki bu gelişmeler doğrultusunda, açık maden işletmelerindeki halihazır harita üretimi, 3B modelleme, üretim ve dekapaj miktarının belirlenmesi, stok ve döküm sahası kübaj hesapları, kayaç tespiti, jeolojik haritalama, kazı planlaması ile alterasyon ve mineral tespiti, dik ve erişilemeyen noktaların haritalanması gibi çalışmalarda da yöntemden faydalanılmaktadır.

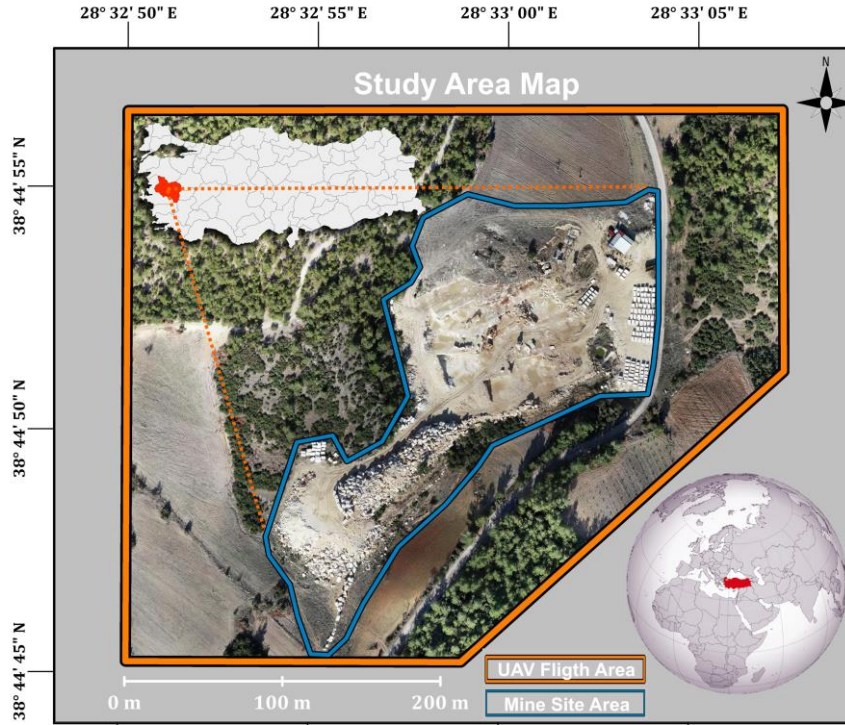
Bu çalışmada da açık maden ocağının mevcut durumu İHA ile gözlemlenmiş ve fotogrametrik yöntemler ile araziden veriler toplanmıştır. Elde edilen görüntü verileri kullanılarak maden ocağına ait yüksek çözünürlüklü ortofoto, SYM ve 3B model üretilmiştir. Üretilen dijital çıktılar kullanılarak maden ocağına ait analizler yapılmıştır ve elde edilen modellerin doğruluğu incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda araziye tesis edilen yer kontrol noktaları (YKN) ve test noktaları (TN) ile doğruluk analizi yapılmıştır. Daha sonra pasa alanına ait hacim hesapları yapılmıştır. Hacim hesabı için ilk olarak pasa alanı jeodezik olarak ölçülmüş ve hacim hesaplanarak aynı pasa alanı İHA fotogrametrisi ile üretilen dijital modellerden hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada açık maden ocağının izlenmesi ve haritalandırılması için fotogrametri tekniklerinden olan İHA fotogrametrisi tekniği tercih edilmiştir. İlk olarak çalışmanın yapıldığı maden ocağına ait bilgi verilmiştir ardından kullanılan jeodezik ölçüm donanımları ve İHA hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Bu çalışma, Manisa ili Gökveliler ilçesinde Şekil 1'de gösterilen 0,13 kilometrekarelik bir açık maden ocağı işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki mermerin çok derinde ve dağınık olması yoğun kazı yapılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada açık maden ocağındaki hacmin, fotogrametrik yöntemlere dayalı ölçüm ve hesaplanmasını belirli doğruluklar ile ortaya konulmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı (Study area)

## 2.2. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Çalışmada İHA fotogrametrisi metodu tercih edildiği için alana ait fotoğraf verileri gerekmektedir. Çalışmada kullanılan İHA Şekil 2'de, İHA fotogrametrisi uçuş bilgileri ise Tablo 1'de verilmiştir. Görüntüler çekildiğinde, çalışma alanının en yüksek ve en düşük noktası arasındaki fark 90 m, ortalama eğim %5,3 ve maksimum eğim %59,9'dur. İHA ile havadan fotoğraf çekiminde iki tip uçuş vardır. Birincisi arazi modeline (Terrain Model) göre oluşturulan yükseklik profili ile yapılan uçuş, diğeri ise belirli bir yükseklikten klasik olarak yapılan uçuştur. Çalışmada arazi modeline göre oluşturulan yükseklik profili ile uçuş yapılmıştır. Fotogrametrik uçuşta %85 ileri (boyuna) bindirme, %60 yana (enine) bindirme gerçekleştirilmiştir. İHA ile toplam 282 fotoğraf verisi toplanmıştır. Uçuşlar, 3.05 cm/piksel yer örneklem aralığında (YÖA/GSD) 105 metre yükseklikten yapılmıştır. Çalışma Şubat 2022 tarihinde gerçekleştirilmiş olup gölge alanlarından kaçınmak amacıyla güneş açısının dik olduğu öğle saatinde (yaklaşık 11:00) uçuşlar gerçekleştirilmiş olup toplam uçuş süresi 36 dakikadır.

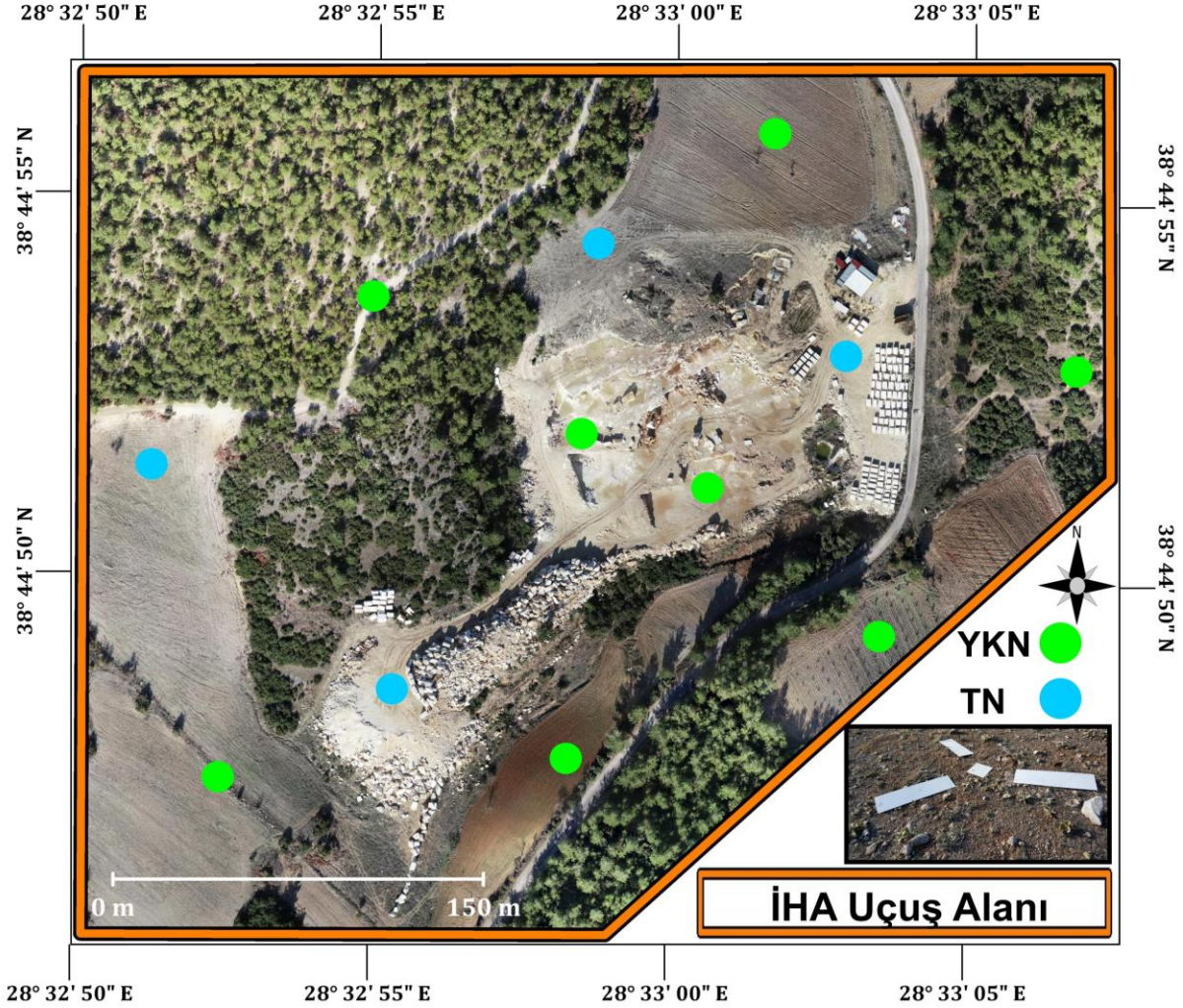


Şekil 2. Kullanılan İHA ve otonom uçuş yazılımı (UAV and autonomous flight software)

**Tablo 1.** İHA fotogrametrisi için uçuş planlama bilgileri (Flight planning information for UAV photogrammetry)

Uçuş yazılımı	Uçuş Yöntemi	Bindirme oranları	Ortalama YÖA/Uçuş yüksekliği	Uçuş süresi/toplam fotoğraf
Maps made easy: map plot pro	Basit tek ızgara yöntemi	%85 / %65 (boyuna/enine)	3.05 cm/105 m	36 dakika/282

Fotogrametri yöntemi ile üretilen sonuç ürünleri yer merkezi ile aynı konuma getirmek (georeferanslandırma) için araziden detay ölçümü yapılmalıdır. Ayrıca bu işlemin yapılmasının bir diğer sebebi farklı yöntemler ile üretilen ürünlerin aynı koordinat sisteminde kullanılmak istenmesidir. Bu sebeple çalışma alanının uygun noktalarına homojen dağılım olacak şekilde hedef işaretleri yani Yer Kontrol Noktaları (YKN) tesis edilmiştir. Ayrıca İHA verilerinden üretilen ürünlerin doğruluğunu analiz etmek için Test Noktaları (TN) tesis edilmiştir (Şekil 3).

**Şekil 3.** Kullanılan YKN ve TN konumları (Locations of GCPs and CPs)

YKN ve TN'leri belirlemek için çalışma alanına eşit olarak dağıtılmış 12 hedef yerleştirildi. YKN'ler, MAPEG'in yayınlamış olduğu harita standartlarına göre (URL-2); her YKN arası 250 metreyi geçmeyecek şekilde eğim ve yüksekliğin değiştiği yerlere tesis edilmiştir. Her hedefin coğrafi konumu ve elipsoidal yükseklikleri, yatayda 10 mm + 1.0 ppm ve düşeyde 15 mm + 1.0 ppm doğrulukla Topcon HiPer SR marka RTK/CORS GNSS ile ölçülmüştür. Bütün hedef işaretleri en az 1 saat ara ile 2 kez olmak üzere 30 epok (Her epok 1 saniyedir) ölçülmüştür. Ek olarak hacim hesabında referans olarak kabul edilmesi amacıyla ölçülecek jeodezik noktalar için Topcon ES-60 Serisi Total Station cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, standart prizmalar ile 4.000 m'ye kadar ölçüm yapabilir ve 500 m'ye kadar 3 mm + 2 ppm hassasiyette ölçüm doğruluğuna sahiptir. Cihaz ile ölçülen noktalar arasındaki maksimum mesafe 50 metre olduğundan koordinatlar 3,1 mm hassasiyetle ölçülmüştür.

Çalışma alanının engebesi ve bitki örtüsüne bağlı olarak YKN ve TN tesisi için geçen süre değişmektedir. Bu çalışmada tercih edilen maden sahasında ön istikşaf sonucunda YKN ve TN tesisi için iki faz ölçüm gerçekleştirilmiş olup yaklaşık iki saatlik bir süre harcanmıştır. İHA ile iki blok uçuş yapılmış olup yaklaşık 36 dakikalık süre

harcanmıştır. Bu tarz bir maden ocağında İHA fotogrametrisi için arazide toplam geçen süre yaklaşık iki buçuk saat sürmüştür. Böyle bir arazide özellikle yükseklik verilerini üretmek amacıyla bir RTK/CORS GNSS cihazı ile topoğrafyanın haritasını çıkarmak için beş metrede bir veri alınmak istenirse yaklaşık 10-14 saat arası zaman almaktadır. Bu süre sadece yatay düşey koordinat verileri için geçerlidir. Maden sahasının cevher çıkan kısımlarında basamakların detaylı verileri için ek ölçümlere gerek duyulmaktadır. Ayrıca şevlerin başlangıç ve bitiş noktaları için beş metrelik bir aralık kaba olacağı için daha detaylı veri toplamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışmanın bir diğer odak noktası geleneksel ölçüm ve İHA fotogrametrisi için arazide geçen süreyi tam olarak karşılaştırmak istenildiği için ve bu işlemin özellikle zaman alan ve hassasiyeti önemli olan hacim hesaplarında analiz edilmek istenilmiştir. Bu yüzden hacim hesabı için detaylı olarak incelenen alanlara ait 139 adet koordinat toplanmıştır. Bunun için geçen süre operatöre bağlı olarak yaklaşık yarım saat sürmüştür. Fakat çalışma alanının tamamı düşünüldüğünde bu sürenin böyle bir arazide detaylı bir şekilde ölçülmesi için bitki örtüsüne de bağlı olarak günler alacaktır. Bu yüzden arazinin yapısına ve yapılacak olan iş planına göre İHA fotogrametrisinin kullanılması zaman açısından da büyük avantaj sağlamaktadır.

### 2.3. İHA Fotogrametrisi ve Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (UAV Photogrammetry and Structure from Motion/SfM)

Fotogrametri, fotoğrafik görüntülerin ve yayılan elektromanyetik enerjinin şekillerinin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucu fiziksel cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgileri ortaya koyan bir bilim dalıdır (Egels ve Kasser, 2001; Schenk, 2005; Chiabrando vd., 2015). Ayrıca fotogrametri, yerbilimcilerin çevrenin geometrisini daha iyi anlamak ve zaman içinde meydana gelen topografik değişiklikleri tespit etmek için kullandıkları güçlü ve kullanışlı bir araçtır (Linder, 2009). 2B görüntülerden 3B model oluşturarak üzerinden her türlü metrik bilgiyi almaya imkân sunan bilim dalıdır (Barbero-Garcia vd., 2020; Bot vd., 2019).

Uzun yıllardır kullanılan fotogrametri tekniği temelde resim çekim konumuna göre hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hava fotogrametrisi genellikle çok büyük alanların topografik haritalarının yapılması için tercih edilmektedir (Alptekin ve Yakar, 2020). Hava fotogrametrisi yönteminde genellikle tercih edilen uçuş yüksekliği bin metrenin üzerindedir. Bu durum maden haritalama çalışma alanları için uygun görülmemektedir. Yersel fotogrametri daha çok objelerin 3B modellenmesi üzerine kullanılmaktadır. Örneğin yersel fotogrametri ile bu tarz bir çalışma alanında daha fazla fotoğraf çekilmesi gerekecektir bu da fotoğraf çekim süresini uzatacaktır. Zaman içerisinde hava fotogrametrisi ve yersel fotogrametri yönteminin boşluklarını doldurmak için kullanıcıyı farklı alternatif veri toplama tekniklerini kullanmaya yöneltmiştir. Bu yönelme özellikle zaman ve maliyet konusunda avantaj sağlayan İHA'ların fotogrametriye adaptasyon sürecini hızlandırmıştır (Ulvi ve Toprak, 2016). Buna bağlı olarak da İHA fotogrametrisi, literatürde yer almaya başlamıştır. İHA fotogrametrisi, genel olarak içerisinde herhangi bir insan taşımadan, otonom veya manuel olarak kontrol edilebilen bir hava aracına entegre edilen kamera ile çekilmiş fotoğraflar kullanılarak yapılan fotogrametrik sürecin genel tanımıdır. Bu bağlamda İHA fotogrametrisi ile özellikle yeni gelişen görüntü işleme teknikleri birçok disiplin tarafından farklı çalışmalarının gözdesi haline gelmiştir (Ulvi, 2021). Ayrıca İHA fotogrametrisinin hızlı gelişmesinin bir başka sebebi de günümüzde, kameralarla çekilmiş fotoğraflardan yüzeylerin 3B modellemesini gerçekleştirmemize olanak tanıyan az sayıdaki düşük maliyetli yazılım uygulamalarının çoğu, Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion/SfM) gibi özel algoritmalara dayanmasıdır (Uysal vd., 2015).

SfM, 2B görüntü dizilerinden 3B yapıları tahmin etmek için kullanılan bir fotogrametrik görüntüleme tekniğidir. SfM yönteminde, üst üste binen çerçevelerin bir dizisinden 3B modeller oluşturulur. Kısa bir süre içinde SfM; hızlı, düşük maliyetli ve kolay 3B ölçümler sağlayan yerbilimi araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkiye sahip olmuştur (Fonstad vd., 2013). Bunun sebebi SfM tekniği, belirli çalışma yöntemlerine uyulduğu takdirde yersel ve farklı hava platformlarından alınan fotoğrafların entegre edilmesi olanağını da sunmaktadır.

Literatürde, birçok araştırmada SfM teknolojisi batık yüzeylerin incelenmesi (Bemis vd., 2014; Dietrich, 2017); toprak erozyonu (Woodget vd., 2015); buzullar (Glendell vd., 2017; Vincent vd., 2016); heyelan yer değiştirmesinin izlenmesi (Anderson vd., 2019; Zhang vd., 2019); açık ocak madencilik alanları (Eker ve Aydın, 2021; Tong vd., 2015); topografik araştırmadaki kavram kanıtlarından batimetrik etütlerin nicelendirilmesi, su altı arkeolojisi, restorasyon izleme, jeomorfolojik değişiklik tespiti ve tortu taşıma yolu tanımlaması dahil olmak üzere farklı türlerde analizler ve araştırmalar yapmak için kullanılmıştır (Fonstad vd., 2013; Xiang vd., 2018).

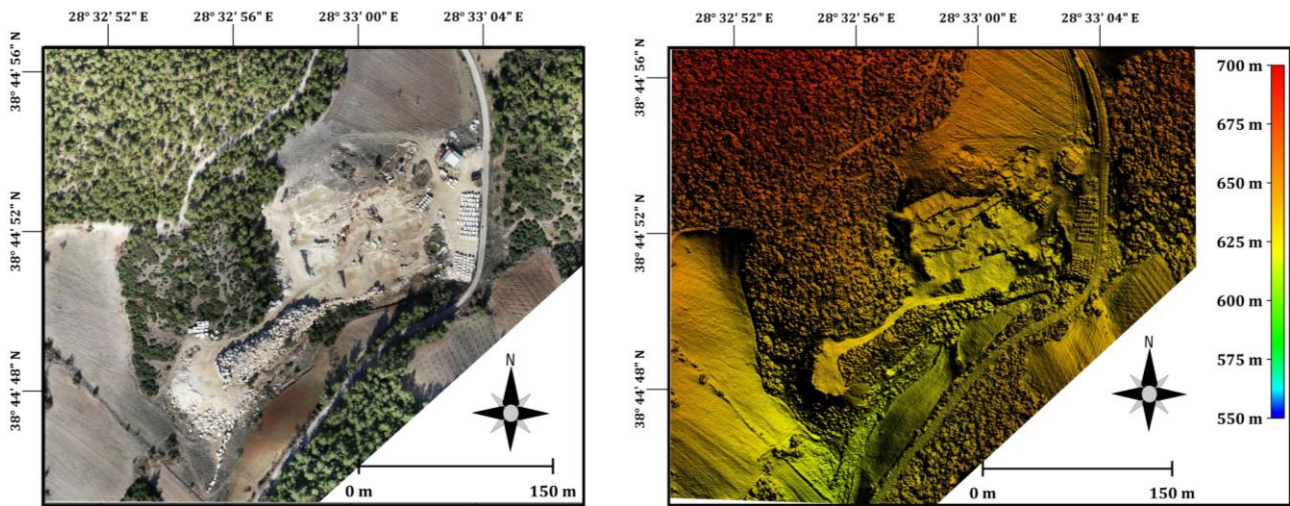
Geleneksel stereoskopik fotogrametri ile SfM yöntemi arasındaki temel fark, 3B uzayda bir noktanın kesin konumunun elde edilmesi için gerekli hesaplamaların tam otomatik yapılması ve kameraların hassas konumlandırılmasına gerek olmamasıdır (Carrivick ve Smith, 2019). Ayrıca kameranın yön değişikliği uzaydaki noktaların yeniden yapılandırılmasını etkilemediği için video kaydını kullanmak da mümkündür.

### 3. Bulgular (Results)

Bu kısımda üretilen dijital ürünler açıklanmış ve yapılan doğruluk analizi ve hacim hesabı aktarılmıştır. Elde edilen ürünler hakkında analizler son bölümde verilmiştir.

#### 3.1. Dijital Ürünlerin Üretimi (Generated of Digital Products)

Fotogrametrik değerlendirme işlemi Agisoft Metashape yazılımında gerçekleştirilmiştir. Fotogrametrik değerlemede ilk olarak ham fotoğrafların hizalanması, kalibrasyonu ve dengelenmesi yapılmıştır. Bu aşamada demet blok dengelemesi yapılır ve SfM algoritması uygulanmıştır. Demet blok dengelemesi; model veya resim koordinatlarından ve yer kontrol noktalarının bilinen arazi koordinatlarından yararlanarak, her bir fotoğraf veya stereo resim çiftinin dış yöneltme elemanları, fotogrametrik bağlama noktaları ve yeni noktaların üç boyutlu arazi koordinatlarını hesaplama yöntemidir (Hamal vd., 2020; Sarı vd., 2020). Bu işlemde hesaplanan iç yöneltme parametreleri tüm fotoğraflar için aynıdır. Bu işlem adımından sonra dış yöneltme parametreleri tek tek optimize edilmiş ve kameralar hizalanmıştır. Daha sonra arazide ölçümü yapılan YKN'ler işaretlenerek görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi ilişkilendirilmiştir. Arazide ölçülen 12 noktadan 8'i benzerlik (Helmert) dönüşümünde kontrol noktası, 4'ü ise test noktası olarak kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra tahmini kamera konumlarına ve görüntülerin kendisine dayalı olarak yoğun nokta bulutu verisi üretilerek araziye ait ortofoto ve yükseklik haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4).



Şekil 4. İHA fotogrametrisi yöntemi ile üretilen Ortofoto (sol) ve Sayısal Yükseklik Modeli (sağ) (Orthophoto (left) and Digital Elevation Model (right) produced by UAV photogrammetry method)

#### 3.2. Doğruluk Analizi ve Hacim Hesabı (Accuracy Analysis and Volume Calculation)

İHA sistemleri, platformlarında yer alan Global Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System/GPS) ve Küresel Uydu Konumlandırma Sistemi (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema/GLONASS) adlı uydu konumlandırma sistemleri sayesinde çekilen fotoğraflarda enlem, boylam ve irtifa bilgilerini kaydedebilmektedir. Ancak herhangi bir coğrafi referans girişi olmaksızın, istenilen koordinat sisteminde ve yaklaşık bir ölçekte bir model üretilmesine kabaca katkıda bulunsa da istenen koordinat sisteminde ve gerçek ölçüm değerinde kesin sonuçlar elde edilemez.

Agisoft Metasahape yazılımında ilk önce İHA görüntüleri hizalanarak seyrek nokta bulutu üretilmiştir. Bu aşamada modelin doğruluğu 73 cm olarak hesaplanmıştır. Daha sonra hem modelin doğruluğunu artırmak hem de yer merkezi ile tam ve doğru bir referanslandırma için kontrol noktaları görüntülere işaretlenmiştir ve model tekrar optimize edilmiştir. Araziye tesis edilen 8 adet YKN ile optimizasyon sonucunda modelin doğruluğu 2.47 cm olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan modelin 3B konum hatasını hesaplamak için 4 adet TN analiz edilmiştir. Bu işlem için YKN ile referanslanan model üzerinden alınan TN koordinatları arazide RTK/GNSS cihazı ile alınan koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Tablo 2'de verilen her TN için XYZ yönündeki hata miktarları hesaplanmıştır daha sonra Eşitlik 1 ve 2 kullanılarak, farklar ( $v_i$ ) ve ölçü sayısı ( $n$ ) dikkate alınarak 3B konum hatası hesaplanmıştır.



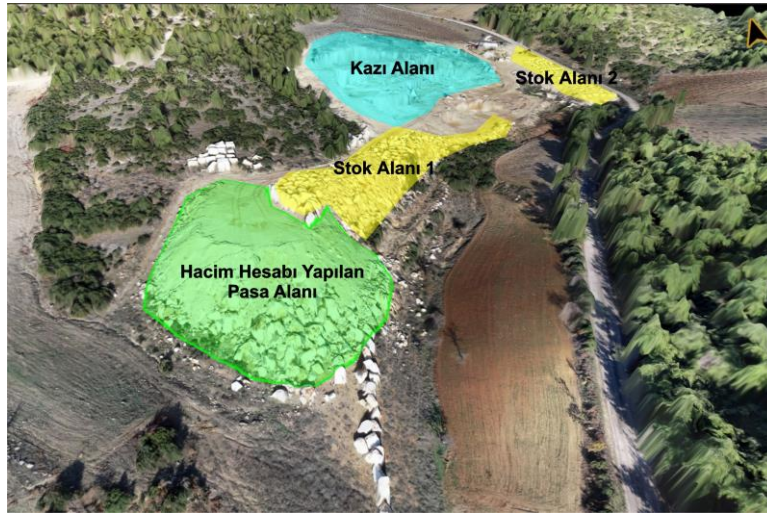
**Tablo 2.** TN'lerin konum hatası (CPs' position error)

N.N	Vx (cm)	Vy (cm)	Vz (cm)	Piksel	VxVx (cm <sup>2</sup> )	VyVy (cm <sup>2</sup> )	VzVz (cm <sup>2</sup> )
TN1	-1.319	-0.044	-0.306	1.354	1.740	0.002	0.094
TN2	-0.13	-1.337	-0.144	1.35	0.017	1.788	0.021
TN3	1.992	-1.189	-2.361	3.309	3.968	1.414	5.574
TN4	-0.248	1.697	0.269	1.735	0.062	2.880	0.072
<b>Konum Hatası (cm)</b>					<b>mx</b>	<b>my</b>	<b>mz</b>
					1.389	1.424	1.386
<b>3B Konum Hatası (mxyz)</b>					<b>2.424</b>		

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum V_x V_x}{n-1}}, \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum V_y V_y}{n-1}}, \quad m_z = \sqrt{\frac{\sum V_z V_z}{n-1}} \quad (1)$$

$$m_{xyz} = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (2)$$

Şekil 5'te gösterildiği gibi, taban sınırları net olarak görülen pasa alanının alan ve hacmi hesaplanmıştır.



Şekil 5. Maden sahasının genel görünümü (General view of the mine site)

İlk olarak hacim hesabı yapılacak olan 2810.10 m<sup>2</sup>'lik pasa alanında klasik olarak total station ile ölçüm yapılmıştır. Bu işlem için 139 adet koordinat verisi elde edilmiştir. Pasa alanına ait hacim hesabı 2 farklı yazılımda incelenmiştir. Her iki yazılımda aynı sınırlar içinde karşılaştırma yapılması için klasik olarak ölçülmüş noktalardan sınırlar teyit edilmiş ve yazılımlara dış sınırlar aktarılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Hacim hesabı yapılan pasa alanı. Agisoft Metashape (sol), Virtual Surveyor (sağ)  
(The area of the passage for which the volume is calculated. Agisoft Metashape (left), Virtual Surveyor (right))

İHA fotogrametrisi sürecinin işlendiği yazılım olan Agisoft Metashape yazılımında nokta bulutu verilerinden yararlanılarak pasa alanın hacmi hesaplanmıştır. Daha sonra yükseklik model ile ortofoto verileri kullanılarak 3B

görselleştirmeyi ve fotogerçekçi bir model oluşturmayı mümkün kılan ve modelden analizler yapmaya imkân veren Virtual Surveyor yazılımında hacim hesabı yapılmıştır. Her iki yazılımda da yükseklik verisi olarak nokta bulutu kullanılmıştır. Araziye klasik olarak ölçülen noktalar ile hacim hesabı yapılmış ve 4355.45 m<sup>3</sup> hesaplanmıştır. Agisoft Metashape ve Virtual Surveyor yazılımında aynı alana ait pasa alanın hacmi ise sırasıyla 4460.80 m<sup>3</sup> ve 4563.25 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 4. Sonuç (Conclusion)

Bu çalışmada madencilik sektöründe önemli olan açık maden ocaklarının alanlarının ve kazı hacimlerinin belirlenmesi için İHA tabanlı fotogrametrik bir yaklaşım sunulmuştur. Düşük maliyetli ve kısa süreli yapılan görüntüleme işlemi sayesinde SfM fotogrametrisi kullanılarak açık maden uygulamaları için kabul edilebilir doğruluklarla alan ve hacim ölçümleri gerçekleştirilebilmektedir. İHA fotogrametrisiyle elde edilen ürünlerin fotogrametrik değerlendirilmesinde arazi koordinatlarının da (YKN/TN) kullanılması modelin doğruluğunu artırmaktadır. İHA fotogrametrisiyle elde edilen ortofoto ve SYM'nin çözünürlüğü sırasıyla 2.09 ve 10.08 cm/piksel'dir. Çalışmada maden sahasındaki hacim hesabının kontrolü için Total Station ile elde edilen jeodezik veriler referans veri olarak kullanılmıştır. Ayrıca ~2810 m<sup>2</sup>'lik alanda jeodezik yöntemle toplanan 139 adet topoğrafik veri yaklaşık nokta/20 m<sup>2</sup>'lik nokta yoğunluğu anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle 4.5 metrede bir klasik yöntem ile veri toplanmıştır. Klasik olarak bir arazide bu sıklıkla veri toplanması hem maliyet hem de zaman açısından dezavantajlı olmaktadır. İHA fotogrametrisi ile ise bu alana ait ~2.5 milyon nokta verisi üretilerek 890 nokta/ m<sup>2</sup> nokta yoğunluğu anlamına gelmekte olup daha fazla bir yüzey yoğunluğu elde edilmektedir. Zaman olarak ise klasik yöntemle çalışmada kullanılan test alanı için (139 nokta) veri toplanması uzman bir operatör ile yaklaşık yarım saat zaman almaktadır. Maden sahalarında ise genel olarak on hektarlık bir arazide çalışma yapılacağı düşünülürse böyle bir alanın klasik olarak verilerinin bu sıklıkla (4.5 metrede bir) elde edilmesi yaklaşık dört gün alabilmektedir. Bu durum hem zaman açısından hem de maliyet açısından oldukça dezavantajlı olabilmektedir. Böyle bir alan için ise İHA fotogrametrisi ile yüksek yoğunlukta nokta verisi üretilmesi için görüntü verilerinin toplanması ve dijital ürünlerin hazırlanması bilgisayar performansına bağlı olarak yaklaşık iki gün sürmektedir. Bu da maden sahalarında hacim hesapları işlemlerinde İHA fotogrametrisi yönteminin zaman ve maliyet açısından avantajını göstermektedir.

Çalışma sonucunda İHA fotogrametri sürecinin uygulandığı Agisoft Metashape ve 3B görselleştirme ve fotogerçekçi bir model oluşturmaya olanak sağlayan Virtual Surveyor yazılımlarından ayrı ayrı hacim hesabı yapılmıştır. Jeodezik veriler kullanılarak hesaplanan referans verisi ile Agisoft Metashape ve Virtual Surveyor hacim değerleri sırasıyla %97.64 ve %95.45 oranında doğrulukla hesaplanmıştır. Sonuçlardan anlaşıldığı üzere İHA fotogrametrisi özellikle kazı miktarının fazla olduğu açık maden sahalarında beklenen doğruluğu sağlayabilir. Aktif maden ocaklarında değişimlerin takip edilmesi ve kazı aşamalarının planlanması için fotogrametri yöntemi birçok yönden avantajlıdır. Ayrıca Virtual Surveyor gibi fotogerçekçi gösterimlerin tasarlanabildiği yazılımlar sayesinde kazı aşamaları daha kolay ve sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilir.

#### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar (References)

- Alptekin, A., Yakar, M., 2020. Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- Anderson, K., Westoby, M.J., James, M.R., 2019. Low-budget topographic surveying comes of age: Structure from motion photogrammetry in geography and the geosciences. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(2), 163-173.
- Barbero-García, I., Lerma, J. L., Mora-Navarro, G., 2020. Fully automatic smartphone-based photogrammetric 3D modelling of infant's heads for cranial deformation analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 166, 268-277.
- Bemis, S.P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T., Bangash, H.A., 2014. Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, 69, 163-178.
- Bot, J. A., Irschick, D. J., Grayburn, J., Lischer-Katz, Z., Golubiewski-Davis, K., Ikeshoji-Orlati, V., 2019. Using 3D photogrammetry to create open-access models of live animals: 2D and 3D software solutions. 3, 54-72.
- Bui, X.N., Lee, C., Nguyen, Q.L., Adeel, A., Cao, X.C., Nguyen, V.N., Le V.C., Nguyen H., Le Q.T., Duong, T.H., Nguyen, V.D., 2019. Use of unmanned aerial vehicles for 3D topographic mapping and monitoring the air quality of open-pit mines. *Inżynieria Mineralna*, 21.
- Can, F., Polat, A.B., Akçay, Ö. 2022. Açık Maden Ocağının Fotogrametrik Yöntem ile Geometrik ve Spektral Analizi: Bigadiç Bor Maden İşletmesi Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22 (1), 175-186.

- Carrivick, J.L., Smith, M.W., 2019. Fluvial and aquatic applications of Structure from Motion photogrammetry and unmanned aerial vehicle/drone technology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(1), e1328.
- Chiabrande, F., Donadio, E., Rinaudo, F., 2015. SfM for orthophoto to generation: A winning approach for cultural heritage knowledge. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(5), 91.
- Demir, B. G., Güngör, N., 2013. Mermer Madenciligi ve Çevre. *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi*, 5(20), 7-14.
- Dietrich, J.T., 2017. Bathymetric structure-from-motion: Extracting shallow stream bathymetry from multi-view stereo photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(2), 355-364.
- Egels, Y., Kasser, M., 2001. *Digital photogrammetry*. CRC Press.
- Eker, R., Aydın, A., 2021. Long-term retrospective investigation of a large, deep-seated, and slow-moving landslide using InSAR time series, historical aerial photographs, and UAV data: The case of Devrek landslide (NW Turkey). *Catena*, 196, 104895.
- Erener, A., 2011. Remote Sensing of Vegetation Health For Reclaimed Areas of Seyitömer Open Cast Coal Mine. *International Journal of Coal Geology*, 86: 20-26.
- Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C., Jensen, J.L., Carbonneau, P.E., 2013. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. *Earth surface processes and Landforms*, 38(4), 421-430.
- Glendell, M., McShane, G., Farrow, L., James, M.R., Quinton, J., Anderson, K., Evans, M., Benaud, P., Rawlins, P., Morgan, D., Jones, L., Kirkham, M., Quine, T.A., Lark, M., Rickson, J., Brazier, R.E., 2017. Testing the utility of structure-from-motion photogrammetry reconstructions using small unmanned aerial vehicles and ground photography to estimate the extent of upland soil erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(12), 1860-1871.
- Gül Y., 2019. Açık maden işletmelerinde insansız hava aracı (İHA) uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.
- Hamal, S. N. G., Sarı, B., Ulvi, A., 2020. Using of hybrid data acquisition techniques for cultural heritage a case study of pompeopolis. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(2), 55-60.
- İncekara, A. H., Delen, A., Bakırman, T., Bayram, B., Şeker, D. Z., 2018. Açık Maden Saha Sınırlarının Piksel Tabanlı ve Nesne Tabanlı Sınıflandırma Teknikleri İle Çıkarımı. VII. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu, 18-21 Eylül 2018, Eskişehir.
- Kun M., Özcan, B., 2019. Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 554-564.
- Linder, W., 2009. *Digital photogrammetry*. Berlin, Germany: Springer.
- Paul, D., Banks, G., Ballard, C., Gillieson, D., 2006. Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data. *Geocarto International*, 21(1): 33-42.
- Sarı, B., Hamal, S. N. G., Ulvi, A., 2020. Documentation of complex structure using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry method and Terrestrial Laser Scanner (TLS). *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(2), 48-54.
- Schenk, T., 2005. Introduction to photogrammetry. The Ohio State University, Columbus, 106.
- Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., Liu, S., Liu, X., Xie, H., Jin, Y., Hong, Z., 2015. Integration of UAV-based photogrammetry and terrestrial laser scanning for the three-dimensional mapping and monitoring of open-pit mine areas. *Remote Sensing*, 7(6), 6635-6662.
- Ulvi, A., 2021. Documentation, Three-Dimensional (3D) Modelling and visualization of cultural heritage by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and terrestrial laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*, 42(6), 1994-2021.
- Ulvi, A., Toprak, A.S., 2016. Investigation of three-dimensional modelling availability taken photograph of the unmanned aerial vehicle; sample of kanlidivane church. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 1(1), 1-7.
- Uysal, M., Toprak, A.S., Polat, N., 2015. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. *Measurement*, 73, 539-543.
- Vincent, C., Wagnon, P., Shea, J.M., Immerzeel, W.W., Kraaijenbrink, P., Shrestha, D., Soruco, A., Arnaud, Y., brun, F., Berthier, E., Sherpa, S. F., 2016. Reduced melt on debris-covered glaciers: investigations from Changri Nup Glacier, Nepal. *The Cryosphere*, 10(4), 1845-1858.
- Woodget, A. S., Carbonneau, P. E., Visser, F., & Maddock, I. P. (2015). Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(1), 47-64.
- Xiang, J., Chen, J., Sofia, G., Tian, Y., Tarolli, P., 2018. Open-pit mine geomorphic changes analysis using multi-temporal UAV survey. *Environmental earth sciences*, 77(6), 1-18.
- Yadigar, E., Toptani, A.R, Gül, S., 2014. Mevzuat Kapsamında Mermer Sahalarının Rehabilitasyonu, Ulusal Mermer ve Taş Ocakları Onarım Teknikleri Sempozyumu, Bildiriler kitabı, 9-17., Isparta.
- Zhang, H., Aldana-Jague, E., Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., Van Oost, K., 2019. Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK) georeferencing for UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry and surface change detection. *Earth Surface Dynamics*, 7(3), 807-827.
- URL-1. <https://mapeg.gov.tr/Custom/Madenistatistik>
- URL-2. <https://mapeg.gov.tr/Uploads/MadenHaritaStandartlari/MAPEG%20HAR%C4%B0TA%20STANDARTLARI.pdf>