

## Açık Maden Ocağındaki Stok/Pasa Yığınının Hacim Hesaplamasında GNSS/CORS ve İHA Ölçümlerinin Karşılaştırıldığı Bir Çalışma Örneği

Abdurahman Yasin Yiğit <sup>1\*</sup>, Yunus Kaya <sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (abdurahmanyasinyigit@gmail.com; ayasinyigit@mersin.edu.tr)

<sup>2</sup> Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 63000, Şanlıurfa, Türkiye; (yunuskaya@harran.edu.tr)



\*Sorumlu Yazar:  
ayasinyigit@mersin.edu.tr

### Araştırma Makalesi

**Alıntı:** Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2024). Açık Maden Ocağındaki Stok/Pasa Yığınının Hacim Hesaplamasında GNSS/CORS ve İHA Ölçümlerinin Karşılaştırıldığı Bir Çalışma Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 6(1), 07-20.

Geliş : 06.04.2024  
Revize : 12.06.2024  
Kabul : 19.06.2024  
Yayınlama : 30.06.2024

### Özet

Madenler ve maden faaliyetleri ülke ekonomisine büyük katkı sağlayan alanlardan biridir. Maden ocağında yapılacak olan çalışmalar için hızlı ve hassas bir şekilde üretim planlanması yapmak madencilik faaliyetleri için önemlidir. Bu amaçla maden sahalarının düzenli olarak haritalandırılması ve pasa alan ve hacimlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Teknolojinin gelişimi ile farklı alanlarda kullanılmaya başlanan İHA'lar madencilik sektöründe de kendine farklı amaçlar doğrultusunda yer bulmuştur. Özellikle maden sahalarında gerçekleştirilen ölçümlerde İHA'lar diğer pahalı teknolojilere kıyasla çok daha ucuz ve kullanım açısından pratiktir. Bu çalışmada İHA ile elde edilen verilerden sayısal yükseklik modeli ve ortomozaik harita üretilmiştir. Üretilen sayısal haritalar kullanılarak maden sahasının haritası yapılmış ve son olarak maden sahasındaki 2 atık/pasa alanının hacim hesaplaması iki farklı yazılımda gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, İHA teknolojisinin madencilik sektöründe, özellikle açık ocak madenlerinde kullanımının etkin bir yöntem olduğu ve geleneksel yöntemlere göre önemli avantajlar sunduğu gözlemlenmiştir. İHA teknolojisi kullanılarak yapılan hacim hesaplamalarının yüksek doğrulukta olduğu ve klasik yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlarla oldukça tutarlı olduğu da tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İHA, maden sahası, fotogrametri, hacim.

## A Case Study Comparing GNSS/CORS and UAV Measurements for Volume Calculation of Stockpile in an Open Pit Mine

\*Corresponding Author:  
ayasinyigit@mersin.edu.tr

### Research Article

**Citation:** Yiğit, A. Y. & Kaya, Y. (2024). A Case Study Comparing GNSS/CORS and UAV Measurements for Volume Calculation of Stockpile in an Open Pit Mine. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 6(1), 07-20 (in Turkish).

Received : 06.04.2024  
Revised : 12.06.2024  
Accepted : 19.06.2024  
Published : 30.06.2024

### Abstract

Mining and mining activities are among the sectors that make a major contribution to the national economy. Fast and accurate production planning for the work to be carried out in the mine makes an important contribution. For this purpose, it is necessary to map the mine sites and measure their volumes. UAVs, which have been used in various fields as the technology has developed, have found a place in the mining sector for various purposes. UAVs are much cheaper and more practical to use compared to other expensive technologies, especially for measurements in mining areas. In this study, a digital elevation model and an orthomosaic map were produced from the data collected by the UAV. Using the digital maps produced, a state-of-the-art map of the mine site was made and finally the volume calculation of the 2 waste areas in the mine site was performed in two different software. As a result, it was observed that the use of UAV technology in the mining sector, especially in open pit mines, is an effective method and offers significant advantages over conventional methods. It was also found that the volume calculations made using UAV technology are highly accurate and highly consistent with the results obtained using conventional methods.

**Keywords:** UAV, mine site, photogrammetry, volume.

## 1. Giriş

Maden sahaları ve mineral kaynakları hem hammadde hem de enerji için önemlidir ve ekonomik kalkınmada önemli bir konuma sahiptir (Hu vd. 2014; Xiao vd. 2018; 2019). Sanayinin ve kentleşmenin büyümesiyle birlikte maden kaynaklarına olan talep önemli ölçüde artmış ve bu da madencilığe daha fazla ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Genel olarak, iki tür madencilik yaygın olarak kullanılmaktadır: yüzey madencilığı ve yeraltı madencilığı. Yüzey madencilğinde, cevher kütlelerinin üzerindeki ve etrafındaki kaya çıkarılıp atıldıktan sonra cevher kütlesi ortaya çıkarılarak işlenir. Yüzey madenleri sınırlıdır ve tipik olarak delme, patlatma, yükleme, taşıma ve boşaltma için büyük miktarda mekanik ekipman kullanır. Yeraltı madencilığı, cevher kütlelerinin yeraltı yataklarından çıkarılması işlemidir. Genellikle yatağın yüzeyin çok altında olduğu yerlerde gerçekleştirilir ve madencilik süreçleri esas olarak cevher yatağını geliştirmeyi, kesmeyi ve yakalamayı amaçlar (Yang vd., 2015). Tüm bu madencilik süreçlerinin kaçınılmaz olarak üretimin güvenliğini ve kalitesini etkileyen bazı sorunları vardır. Açık ocak madencilğinde, çukurun derinliği ve açısı arttıkça, kazı doğrudan şev stabilitesini etkiler ve bu da üretim kalitesini etkiler. Aynı zamanda, açık ocak madenlerindeki toz emisyonları kontrolsüzdür ve işçilerin sağlığını tehlikeye atar. Yeraltı operasyonları sırasında tavan, aşırı yükün ağırlığı altında çökebilir. Nakliye koridorlarındaki havalandırma genellikle yetersizdir ve zararlı gazların uzaklaştırılmasını zorlaştırır. İyi mühendislik tasarımı, madencilikte jeolojik tehlikelerin oluşumunu azaltmanın temelidir ve bu da daha yüksek düzeyde maden güvenliği ve istikrarı elde edilmesine yardımcı olabilir.

Madencilik sırasında güvenlik ve yönetim konularına ek olarak madencilığın neden olduğu çevresel sorunlar daha sonra göz ardı edilemez (Yücel & Turan, 2016). Arazi ıslahı ve ekolojik restorasyon madencilik faaliyetlerinin ek bir odak noktası haline gelmiştir. Aşırı ve plansız madencilik toprağa, suya ve ekolojiye ciddi zararlar vermektedir. Maden kaynaklarının kullanımı, madenin ömrü boyunca devam eden karmaşık bir süreçtir ve farklı madencilik biçimlerini ve madencilik sürecinin güvenli kontrolünü içerir. Açık ocak madencilığı atıklara, atık kayaya, katı atıklara ve arazi kullanımını etkileyen diğer sorunlara neden olmaktadır (Özdemir & Kumral, 2019). Maden derinliklerinin ve maden açılarının artmasıyla birlikte, açık ocak madenlerinin bulunduğu maden sahalarında şev stabilitesi gizli bir tehlike haline gelmiştir. Aynı zamanda, tarım arazileri etkilenmekte ve ürünlerin yetiştirildiği çevre zarar görmektedir. Bu nedenle, maden sahalarında arazi

ıslahı ve ekolojik restorasyon için madencilik sonrası gerçek zamanlı çevresel izlemeye (özellikle arazi kullanımı, ekolojik ve jeolojik tehlike izleme) ihtiyaç vardır ve bu da sürdürülebilir madencilik için uygun planlamanın sağlanmasında kilit öneme sahiptir (Polat & Uysal, 2018).

Birçok ülkede maden haritalaması, madencilik sonrası geniş bir yelpazedeki arazi kullanımlarının ve olanaklarının belirlenmesinde zorunlu bir adımdır. Açık ocak madencilığının dünya çapında önemli ölçüde yaygınlaşmasıyla birlikte, maden haritalaması giderek daha önemli hale gelmektedir. Maden haritalarına ek olarak, maden sonrası hacim hesaplamaları hem ekonomik hem de sonraki çevre düzenlemesi için önemli bir adımdır. Madencilik, değerli minerallerin hem ticari hem de ticari olmayan amaçlarla cevher şeklinde yeryüzünden çıkarılmasını içerir. Cevheri çıkarmak için madencilik işlemleri genellikle yeraltı veya yüzey madencilığı ile gerçekleştirilir. Yüzey madencilığı, cevhere ulaşmak için aşırı yükün kaldırılmasını gerektirir. Bu süreçte cevherin yanı sıra büyük miktarda atık malzeme de sıyrılır (Suleman & Baffoe, 2017). Çıkarılan atık malzeme ve cevher miktarı hem maden müteahhitleri hem de maden yöneticileri için önemlidir. Maden müteahhitlerine ve işçilere çıkarılan malzeme miktarına göre ödeme yapılır. Madencilik ekipmanlarının verimliliği de belirli bir dönemde çıkarılan malzeme miktarı ile ölçülür. Madenin verimliliği de belirli bir dönemde çıkarılan malzeme miktarı ile ölçülür. Maden çalışmalarında mühendisler bir gün, hafta veya ay içinde çıkarılan atık ve cevher miktarını tahmin etmekten sorumludur. Bu genellikle stok sahası, atık sahası ve aktif ocaklar incelenerek gerçekleştirilir. Yıllar içinde, operatörlerin hacimsel amaçlarla veri toplamasına yardımcı olmak için çeşitli teknolojiler ve teknikler geliştirilmiştir. Bunlar arasında total istasyonlar ve küresel navigasyon uydu sistemleri (Global Navigation Satellite System/GNSS) dikkat çekmektedir (Arango & Morales, 2015; Fitzpatrick, 2016). Ancak, hacim tahmini için veri toplamak üzere bu teknolojileri kullanmak genellikle yoğun emek gerektirir ve bazen operatörlerin tehlikeli ve güvensiz ortamlarda çalışmasını gerektirmektedir (Labant vd., 2013; Barry & Coakley, 2013). Buna ek olarak hacim tahmini için veri toplamak sahada nispeten uzun bir zaman gerektirmektedir. Operatörlerin erişemediği alanlarda veri toplanamamakta, bu da toplanan verilerin kalitesini ve zenginliğini azaltmaktadır (Rathore & Kumar, 2015). Total station ve GNSS teknolojisi kullanılarak toplanan veriler kullanıcının yargısına, deneyimine ve sezgilerine dayanır ve bu nedenle kalite kullanıcıdan kullanıcıya değişir. GNSS teknolojisi kullanıldığında, eğimler daraldıkça ve derinleştikçe GNSS sinyallerini

takip etmek zorlaşır. Geleneksel teknikler kullanılarak günlük, haftalık ve aylık hacim tahminleri için veri toplamak çok stresli, sıkıcı ve zaman alıcıdır.

Yaygın olarak drone olarak bilinen insansız hava aracı (İHA), insan pilotu olmayan bir hava aracı olan ve madencilikte uygulamaları olan gelişmekte olan bir teknolojidir (Mantey, 2019; Miljkovi'c vd., 2017; Cryderman vd., 2014; Merz & Chapman, 2012; Everaerts, 2008). İHA teknolojisi, ölçme, haritalama ve veri toplama ile ilgili stresi ve el emeğini azaltma potansiyeline sahiptir (Mantey, 2019; Rathore & Kumar, 2015; Manyoky vd., 2011). Özellikle, gelişmiş konumlandırma sistemlerinin İHA'lara monte edilebilmesi hassas mühendislik projelerinde kullanımlarını artırmıştır. Örneğin, İHA'lar yüksek mekânsal doğruluğa sahip ortofoto ve yükseklik haritaları üretmek için kullanılabilir. Sayısal platformda üretilen bu haritalar birçok çalışmaya altlık olarak kullanılmaktadır. Bu dijital çıktılar ile İHA'lar kazı hesaplamalarından saha çalışmalarına ve malzeme kontrolüne kadar geniş bir alanda kullanılabilen hem zamandan hem de paradan tasarruf sağlamaktadır. İHA'lar maden sahalarının ölçülmesi, halihazır harita ve kübaj hesaplamalarının yapılması ve tüm arazinin yer ölçümlerinden daha detaylı bir şekilde dijital olarak yakalanması için kullanılmaktadır (Forum Makine, 2019).

Kun ve Özcan (2019), özellikle hesaplanması zor olan alanlarda hacim, kütle, kabarma faktörü gibi kavramların arazide belirlenmesi için İHA'ların kullanımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda klasik yöntemlerle yapılan hesaplamalar ile İHA'larla elde edilen verilerin uyumlu ve birbirine çok yakın olduğunu tespit etmişler ve sonuçları yorumlamışlardır. Gül (2019), açık işletmelerde İHA tabanlı haritalama uygulamalarının avantajlarını açıklamıştır. Bu kapsamda İHA fotogrametrisi ile üretilen ortofoto haritalar, SYM, dekapaj ve üretim miktarı hesaplamaları, stok ve stok hacmi belirleme ve deformasyon ölçüm çalışmalarını sunmuştur. Kekeç vd. (2018), İHA denetiminin maden sahalarında gereksiz zaman kaybını önlemek ve maliyet kontrolü için etkili bir yöntem olabileceğinden bahsetmiştir. Ayrıca, madencilikte İHA kullanımının, madenin havadan izlenmesi ve yönetilmesi için geleneksel yöntemlere kıyasla önemli ölçüde zaman tasarrufu ve ölçüm doğruluğu sağladığından bahsetmişlerdir. İHA'lar, açık ocak madencilik sektöründe 3B haritalama veya hacim hesaplama için giderek daha önemli hale gelmektedir (Park vd., 2013; Cryderman vd., 2014). İHA'lar üretkenlik, maliyet ve verimlilik açısından madencilik endüstrisi üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Doğruluk kaybı olmadan geniş alanlarda veri toplamak daha az zaman alır. İHA

teknolojisi, geleneksel araştırma tekniklerinden çok daha zengin veriler sağlar ve erişilemeyen alanları kapsayabilir.

Açık maden ocaklarındaki pasa yığınlarının hacim hesaplamaları, madencilik faaliyetlerinin verimliliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Doğru hacim hesaplamaları, maden sahalarının etkin bir şekilde yönetilmesini, üretim planlamasının optimize edilmesini ve çevresel etkilerin minimize edilmesini sağlar. Madencilik faaliyetlerinin çevresel etkileri önemli bir endişe kaynağıdır. Hassas hacim hesaplamaları, çevresel rehabilitasyon ve arazi restorasyonu süreçlerinin etkin bir şekilde planlanmasına olanak tanır. İHA'lar, geniş alanların detaylı haritalanması ve izlenmesi konusunda üstün performans gösterir, bu da çevresel izleme ve yönetim süreçlerini iyileştirir. Ayrıca açık maden ocaklarında yapılan çalışmalar, işçi güvenliği açısından yüksek riskler barındırır. İHA'lar, tehlikeli alanlarda veri toplama sürecini uzaktan gerçekleştirerek işçilerin güvenliğini artırır. Şev stabilitesi ve pasa yığınlarının izlenmesi gibi kritik güvenlik konularında hassas ve güvenilir veri sağlanması, potansiyel kazaların önlenmesine yardımcı olur. Yukarıda bahsedilen temel sorunlar ve potansiyel çözümler ve avantaj için bu çalışmanın yapılması ve bulguların sunulması, gelecekteki araştırmalara ve madencilik uygulamalarına yön verecek nitelikte olup, bilimsel bilginin genişlemesine katkıda bulunma potansiyeli gerekli olmuştur.

Bu çalışma, bir açık ocak madeninde çıkarılan malzemenin stok hacmini tahmin etmek için İHA ve GNSS tabanlı yöntemleri karşılaştırmaktadır. Sonuç olarak, İHA'ların madencilikte hacim hesabında uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda hem klasik yöntemlerle bir bölgenin hacmi hesaplanmış ve doğru kabul edilmiştir. Seçilen bu alan İHA'dan elde edilen veriler kullanılarak iki farklı yazılımda da hacmi hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, İHA ve GNSS/CORS teknolojilerinin açık maden ocaklarında pasa yığınlarının hacim hesaplamalarındaki etkinliğini değerlendirerek madencilik sektöründe verimlilik, güvenlik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Veri Toplama

Aktif olarak çalışan maden ocaklarının modellenmesindeki en büyük zorluk sürekli değişen maden sahasının değişimlerini kayıt altına almaktır. Büyük alanların belgelenmesi ve analizlerinin yapılmasında çeşitli yöntemler kullanılsa da en etkili

çözümlerden biri fotogrametri tekniğidir. Bu çalışmada da temel yöntem olarak fotogrametri benimsenmiştir (Kahveci & Can, 2017). Fotogrametri genel itibari ile yersel ve hava fotogrametrisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Son zamanlarda yaygınlaşan İHA'lar sayesinde daha geniş alanların daha kısa zamanda görüntülenebilmesi ve modellenmesi ile İHA fotogrametrisi tabiri ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada İHA fotogrametrisi uygulanmış olup hava fotoğrafları için Şekil 1'de gösterilen İHA kullanılmıştır.



Şekil 1. Phantom 4 İHA (URL-1).

Çalışmanın gerçekleştiği maden sahasının topoğrafyası nedeniyle uygun İHA seçimi önemli bir adımdır. Uygun arazi şartları gözetilmesi gerekmekte olup çalışma alanı döner kanatlı İHA'lar için daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sebepten dolayı çalışmada Şekil 1'de gösterilen döner kanatlı bir İHA olan DJI Phantom 4 Pro v2.0 tercih edilmiştir. Kullanılan İHA, yüksek mekansal çözünürlüklü görüntüler sağlamak üzere alçak irtifalarda stabil uçuşa olanak sağlayan dört adet döner kanat içermektedir. Hafifliği, çok yönlülüğü ve kullanımı kolay olması, bu İHA'yı günümüzde hava fotogrametrisinde profesyonel kullanıcılar tarafından yaygın olarak kullanılan bir cihaz haline getirmektedir. Üstelik 20 Megapiksel kamerasına sahip olması diğer bir tercih edilme sebebi olmuştur. Ayrıca tercih edilen İHA, GPS ve GLONASS, uydu konumlandırma sinyallerini alabilen çok frekanslı bir GNSS alıcısıyla donatılmıştır. Kullanılan İHA'ya ait teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında hava fotoğraflarını çekmek için tam otomatik bir uçuş görevi tasarlanmıştır.

Tablo 1. DJI Phantom 4 Pro özellikleri.

Özellik	Değer
Boyut	Diyagonal 35 cm
Ağırlık	1,375 kg (kamera dahil)
Maksimum uçuş süresi	30 dakika
Maksimum hız	20 km s <sup>-1</sup> , konumlandırma modu 13 89 m s <sup>-1</sup>
Maksimum yükselme hızı	6 m s <sup>-1</sup> , konumlandırma modu, 5m s <sup>-1</sup>
Rotor sayısı	4
Kamera	Entegre 1" CMOS 20 Mp
Etkili Piksel	5,472 x 3.648 (20 MP)
Sensör Boyutu	Diyagonal 1 inç
Görüntü Formatı	JPEG, DNG (RAW)

İHA verilerinin fotogrametrik amaçla kullanılabilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Örneğin bir alanın haritalandırılması veya 3B modelinin üretilmesi için o alana ait çekilen fotoğrafların eşit miktarda bindirmeli olması modelin veya haritanın doğruluğunu artırmaktadır. Bu amaçla İHA ile hava görüntü verilerinin elde edilmesi için Maps Made Easy uçuş yazılımı kullanılmıştır (URL2). İHA ile elde edilen hava fotoğraflarının işlenmesinde iç yöneltmeye yardımcı olması için ve görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sisteminin ilişkilendirilmesi ve yeryüzündeki yükseklik farklılıklarından kaynaklanan hataların düzeltilmesi için arazinin belirli noktalarına yer kontrol noktası (YKN) tesis edilmiştir. Arazide homojen olarak dağılan ve eğimin sert olarak değiştiği bölgelere daha fazla tesis edilmek üzere toplam 18 YKN yerleştirilmiştir. Bu noktalardan 8'i fotogrametrik dengeleme için kontrol noktası (KN) olarak, 10 tanesi de doğruluk analizinde

denetleme noktası (DN) olarak kullanılmıştır. YKN ve DN'lerin ölçümü için Topcon GR5 GNSS/CORS cihazı kullanılmıştır (Şekil 2).

Uçuş görevi yaklaşık 15 dakikalık uçuşlar ile planlanmış olup toplam 5 uçuş ile gerçekleştirilmiştir. Uçuş yüksekliği 115 metre (kalkış seviyesinden) ve yer örnekleme aralığı (YÖA) 3.15 cm/piksel olarak hesaplanmıştır. Boyuna ve enine bindirme oranları ise sırasıyla %80 ve %70 olarak seçilmiştir.



Şekil 2. Topcon GR5 GNSS/CORS (URL3).

İHA ile çekilen fotoğrafların fotogrametrik olarak değerlendirilmesi Agisoft MetaShape yazılımında (URL-6) gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme sonucu oluşan sayısal veriler yardımıyla maden sahasının 3 boyutlu (3B) çizimi Virtual Surveyor (URL-4) yazılımında yapılmıştır. Maden sahasının halihazır haritası Netcad yazılımında üretilmiştir. Ayrıca maden sahasında bulunan 2 adet pasa alanının hacimleri hem Virtual Surveyor yazılımında hem de Netcad yazılımının NETPRO/Mine modülünde (URL-5) hesaplanmıştır.

## 2.2. Fotogrametri ve Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM)

Fotogrametri, nesnelerin 3B nokta bulutlarını oluşturmak için 2B görüntü dizilerini ve üçgenleme algoritmasını kullanan bir tekniktir (Eisenbeiss, 2009; Kabadayı & Erdoğan, 2023). Tek bir görüntüden bir noktanın 3B koordinatlarını ayırt etmek mümkün olmadığından, 2B görüntüdeki bir nokta, kamera merkezinden 3B sahnedeki bu noktaya kadar olan görüş hattı (ışın) boyunca tüm konumlara karşılık gelir. Fotogrametride kullanılan örtüşen görüntülerin kamera konumları ve dış yönelim parametreleri, bir nesnenin yüzeyindeki noktaların 3B koordinatlarını belirlemek için kullanılır. Örtüşen görüntüler arasında en az üç kontrol noktası varsa, dış yönelim parametreleri belirlenebilir. İç yönelim parametrelerinin önceden bilinmesi gerekir, ancak kendi kendine kalibrasyon tekniği, Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (Structure from Motion/SfM) gibi son teknoloji algoritmalar sayesinde bu gereksinimi ortadan kaldırır (Kabadayı & Uysal, 2019). SfM algoritmasına dayalı fotogrametrik yazılımlar sayesinde geleneksel kameralarla çekilen görüntülerden 3B modelleme ve yüzey yeniden yapılandırma nispeten kolay hale gelmiştir. SfM olarak bilinen bir fotogrametrik yöntem veya algoritma, önceden tanımlanmış ve 3B konumları bilinen bir hedef ağa ihtiyaç duymadan sahne geometrisini, kamera konumlarını ve yönünü algılayabilir (Dursun, 2022). Dijital kameraların, video kameraların veya kameralı cep telefonlarının piyasaya sürülmesi, bilgisayar görselleştirmesine dayalı bir ölçüm tekniği olan SfM'nin kullanımının artmasına neden olmuştur. SfM'nin düşük maliyeti, hızlı sonuçları ve basit 3B ölçüm kabiliyetinin bir sonucu olarak, bilimsel araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve yerbilimi araştırmaları üzerinde dönüştürücü bir etkisi olmuştur (Ulvi, 2021). SfM, bindirmeli görüntü karelerindeki ortak noktaları tüm resimlerde bulup eşleyerek 3B yapılar üretir.

SfM, stereoskopik fotogrametri ile aynı prensipler üzerinde çalışır (Şenol & Orman, 2022). SfM'nin stereoskopik fotogrametriden farkı, üç boyutlu uzayda bir noktanın doğru konumunu elde etmek için gereken hesaplamaların otomatik olarak yapılması ve mükemmel kamera konumlandırması gerekliliğinin olmamasıdır. Ayrıca, kamera yönündeki değişiklik uzaydaki konumların yeniden yapılandırılmasını etkilemediği için video kayıtları SfM'de kullanılabilir. Fonstad vd. (2013) SfM'nin maliyet tasarrufu ve inşaa kolaylığı açısından avantajlı olabileceğini ileri sürmektedir. Carrivick vd. (2019)'e göre, SfM iş akışı önemli miktarda daha fazla otomasyona sahiptir ve bu nedenle kullanıcılar tarafından fotogrametriye göre çok daha basit ve daha erişilebilir olarak kabul edilmektedir. Gienko ve Terry (2014), SfM ile oluşturulan 3B modellerin gerçek nesnelerin güvenilir ve doğru bir temsili olabileceğini ve teknolojinin hızlı ve doğru değerlendirme için yararlı olduğunu belirtmiştir. Paket blok ayarı, anlık görüntü ile beklenen nokta konumu arasındaki projeksiyon hatalarını azaltmak için SfM'yi kullanan bir teknik yazılımdır. Seyrek bir nokta bulutu oluşturmak için fotoğraflar arasındaki ortak noktaları otomatik olarak ayıklamaya yönelik yerleşik yöntemler, SfM yazılımının temelini oluşturur. Radyometrik piksel değerleri üzerinde çalışan ölçekle değişmeyen özellik dönüşümü (Scale Invariant Feature Transform/SIFT) tekniği (Çağlayan, 2020), bu işlem için en yaygın kullanılan algoritmadır. SfM tarafından üretilen seyrek nokta bulutu görelidir ve gerçek boyutlara göre düzeltilmelidir. Bu kalibrasyon için bilinen birkaç YKN veya hedef işaretleri verileri kullanılır. SfM'deki bir diğer adım ise yoğun nokta bulutu oluşturma işlemidir. Bu adımda kullanılan algoritma yoğun çoklu görünüm stereo (multiview stereo/MVS) algoritmasıdır (Ulusoy vd., 2017). Bu aşamada, eşleşen pikseller ve tahmini 3B konumları, ağ modelleri üretmek için bir nokta bulutu haline gelir. Son olarak, modele fotogerçekçi bir ağ vermek için görüntüler kullanılır.

## 2.3. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, çalışmanın doğruluğunu ve güvenilirliğini ölçmek için son adımdır (Ulvi, 2021; Kaya vd., 2021; Yiğit vd., 2023). Bu çalışmada doğruluk analizini yapmak için literatürde sıklıkla kullanılan karesel ortalama hata (KOH) yöntemi kullanılmıştır. Karesel ortalama hata Denklem 1 ve 2 ile hesaplanır. Karesel ortalama hata değerinin küçük olması verilerin birbirine yakınlığı ve ölçünün duyarlı olduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışmada referans verisi olarak GNSS-cors verileri kabul edilmiştir.

$$V_{x,y,z,i} = X, Y, Z_{\text{GNSScors}_i} - X, Y, Z_{\text{UAV}_i} \quad (1)$$

$$KOH_{x,y,z} = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2)$$

Burada;  $V_{x,y,z,i}$  Aynı noktanın farklı ölçümler sonucunda elde edilen konumsal farkını,  $X, Y, Z_{\text{GNSScors}_i}$ ; noktanın GNSS alıcısı ile ölçülen koordinatlarını,  $X, Y, Z_{\text{UAV}_i}$ ; noktanın UAV uçuşlarından türetilen koordinatlarını (dengelemeden sonraki DN'ye ait) temsil etmektedir.

### 3. Uygulama

Çalışma alanı olarak Balıkesir ili Kepsut ilçesi sınırlarında bulunan bir açık maden sahası tercih edilmiştir. Çalışma alanının konumu yaklaşık olarak  $39^{\circ}41'7.68''\text{K}$  ve  $28^{\circ}7'28.55''\text{D}$  koordinatlarında bulunmaktadır. Çalışma alanı döküm/pasa alanları ile 600 m genişlik ve 800 m'lik bir uzunluğa sahip olmakla beraber yaklaşık olarak 28 hektarlık bir alana sahiptir. Arazide yapılan ön ölçümler doğrultusunda yükseklik değerleri en düşük (490) ile en yüksek (675) bölgeler arasındaki yükseklik farkı 185 m olarak ölçülmüştür. Çalışma alanının bulunduğu topografya oldukça engebeli ve yüksek eğime sahiptir. Uygulama arazi ve ofis çalışmasından oluşmaktadır.

#### 3.1. Arazi Çalışması

Ortofoto görüntü verilerinin üretilmesinde görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sisteminin ilişkilendirilmesi ve yeryüzündeki yükseklik farklılıklarından kaynaklanan hatanın düzeltilmesi gerekmektedir. Bu amaçla görüntülere ait yörünge ve kalibrasyon bilgileri ile YKN kullanılmaktadır. Bu amaç doğrultusuna araziye tesis edilen YKN ve DN'lerin ölçümü arazi çalışmasının ilk adımını oluşturmaktadır.

Fotogrametrik çalışmalarda YKN ve DN'ler fotoğraf çekimi öncesinde araziye tesis edilirken, genellikle görüntüde kolay bulunabilen doğal veya yapay nesnelere seçilir. Noktaların seçimi, dağılımı ve doğruluğu çalışmanın sonuçlarını etkilemesi açısından çok önemlidir. YKN ve DN'ler, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG)'nin yayınlamış olduğu harita standartlarına göre (Mapeg Harita Standartları, 2018); her nokta arası 250 metreyi geçmeyecek şekilde eğim ve yüksekliğin değiştiği yerlere tesis edilmiştir. YKN ve DN koordinatları ve elipsoidal yükseklikler GNSS/CORS

ile ölçülmüştür (Şekil 3). Bütün YKN'ler en az 1 saat ara ile 2 kez olmak üzere 30 epok (Her epok 1 saniyedir) ölçülmüştür.



Şekil 3. Nokta tesisi ve ölçümü.

Noktaların tesisi ve ölçümü sonrası uçuş planlaması ve uçuş yapılmıştır. İHA ile havadan fotoğraf çekiminde 2 tip uçuş vardır. Birincisi yüzey modeline (Terrain Model) göre oluşturulan yükseklik profili ile yapılan uçuş, diğeri ise belirli bir yükseklikten klasik olarak yapılan uçuştür. Çalışmada yüzey modeline göre oluşturulan yükseklik profili ile uçuş yapılmıştır. Uçuşta %80 boyuna %70 enine bindirmeli olmak üzere toplam 786 fotoğraf çekilmiştir. Uçuşlar, 3.15 cm/piksel YÖA ile 115 metre yükseklikten yapılmıştır. Toplam uçuş süresi 75 dakikadır.

#### 3.2. Ofis Çalışması

Ofis çalışmasında ilk olarak arazide ölçümü yapılan noktaların dengelenmesi (Tablo 1) ve elipsoidal yüksekliğin ortometrik yüksekliğe çevrilmesi yapılmıştır (Tablo 2). Ortometrik yükseklik için ondülasyon değeri (N) 38.630 bulunmuştur.

YKN'lere ait kesin koordinatlar elde edildikten sonra İHA ile çekilen araziye ait fotoğraf verilerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Fotogrametrik değerlendirme işlemi Agisoft Metashape yazılımında gerçekleştirilmiştir. Arazide yüzey modeline göre yapılan uçuşta çekilen fotoğrafların konumu Şekil 4'te gösterilmiştir.

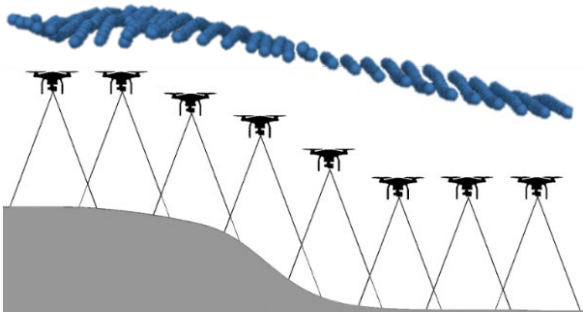
**Tablo 2.** Farklı oturum zamanlarında ölçülen YKN'lere ait dengelenmiş ve kesin koordinatlar.

Nokta No	Oturum Zamanı (UTC)	Koordinat			Kesin Koordinat (ITRF-TM 3°27° E)		
		Sağa Değer (m) (Y)	Yukarı Değer (m) (X)	Elipsoid Yüks. (m) (h)	Sağa Değer (m) (Y)	Yukarı Değer (m) (X)	Elipsoid Yüks. (m) (h)
P.1	30 01 2019 09:20:14	611732.315	4398831.615	659.328	611732.319	4398831.624	659.319
	30 01 2019 10:40:15	611732.323	4398831.633	659.309			
P.2	30 01 2019 08:56:32	612385.822	4399589.197	697.259	612385.814	4399589.214	697.257
	30 01 2019 11:10:25	612385.805	4399589.230	697.254			
P.3	30 01 2019 09:07:07	612177.071	4399056.015	630.979	612177.070	4399056.021	630.989
	30 01 2019 11:35:44	612177.068	4399056.026	630.998			
P.4	30 01 2019 08:21:43	611987.313	4398225.427	586.178	611987.317	4398225.420	586.175
	30 01 2019 10:55:37	611987.320	4398225.413	586.171			
P.5	30 01 2019 08:47:02	611812.517	4398090.311	609.235	611812.513	4398090.315	609.237
	30 01 2019 12:00:20	611812.509	4398090.318	609.238			
P.6	30 01 2019 09:32:20	612056.515	4398214.129	577.966	612056.500	4398214.149	577.936
	30 01 2019 12:10:20	612056.485	4398214.169	577.906			
P.7	30 01 2019 09:44:20	612180.963	4397961.406	552.086	612180.967	4397961.384	552.096
	30 01 2019 12:21:20	612180.970	4397961.361	552.106			
P.8	30 01 2019 09:56:20	611980.889	4397759.268	520.693			
	30 01 2019 12:43:20	611980.829	4397759.278	520.685	611980.859	4397759.273	520.689
	30 01 2019 13:18:20	612435.845	4399412.230	687.254			

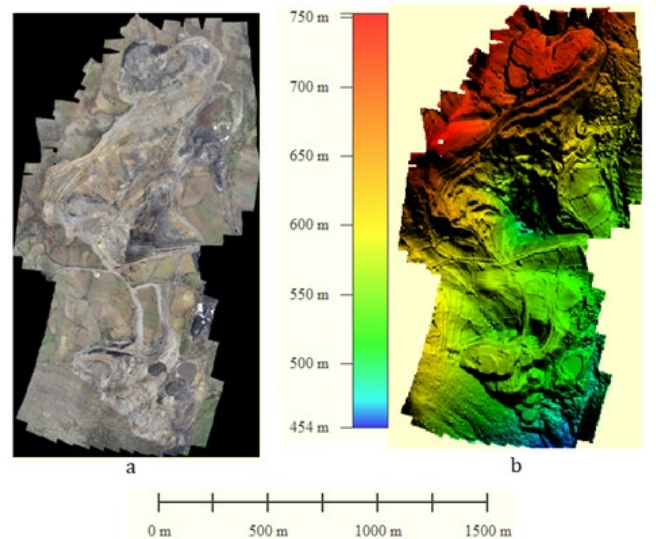
**Tablo 3.** YKN'lerin ortometrik yükseklik değerleri.

NOKTA NO	Ortometrik Yükseklik (m) (H)
P.1	620.689
P.2	658.627
P.3	592.359
P.4	547.545
P.5	570.607
P.6	539.306
P.7	513.466
P.8	482.059

sonrasında DN kullanılarak dengeleme sonucu koordinatlar Tablo 3'te, koordinat hataları Tablo 4'te ve konum hatası Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Şekil 5.** Yoğun nokta bulutu.**Şekil 4.** Yüzey modeline göre çekilen fotoğrafların konumu.

Fotogrametrik değerlemede ilk olarak ham fotoğrafların sıralanması, kalibrasyonu ve dengelenmesi yapılmıştır. Daha sonra arazide ölçümü yapılan YKN'ler işaretlenerek görüntü koordinat sistemi ile yer koordinat sistemi ilişkilendirilmiştir. Son olarak yoğun nokta bulutu (Şekil 5) üretilmiş ve son olarak araziye ait Ortomozaik ve Yükseklik modeli haritaları (Şekil 6) oluşturulmuştur. Dengeleme

**Şekil 6.** Ortomozaik (a) ve Sayısal Yükseklik Modeli (b)

**Tablo 4.** DN'lere ait kesin koordinatlar ile Dengeleme sonucu oluşan değerler.

GNSS/CORS (Kesin Koordinatlar)				Agisoft Yazılımında Fotogrametrik Değerleme Sonucu Elde Edilen Koordinatlar			
N.N	X (m)	Y (m)	Z (m)	N.N	X (m)	Y (m)	Z (m)
P.1	611732.319	4398831.624	620.689	P.1	611732.342	4398831.642	620.684
P.2	612385.814	4399589.214	658.627	P.2	612385.822	4399589.229	658.622
P.3	612177.070	4399056.021	592.359	P.3	612176.990	4399055.906	592.358
P.4	611987.317	4398225.420	547.545	P.4	611987.325	4398225.418	547.522
P.5	611812.513	4398090.315	570.607	P.5	611812.535	4398090.350	570.592
P.6	612056.500	4398214.149	539.306	P.6	612056.523	4398214.186	539.304
P.7	612180.967	4397961.384	513.466	P.7	612180.995	4397961.419	513.467
P.8	611980.859	4397759.273	482.059	P.8	611980.878	4397759.287	482.073
P.9	612118.377	4397549.347	458.548	P.9	612118.390	4397549.355	458.562
P.10	612435.834	4399412.211	648.619	P.10	612435.844	4399412.215	648.628

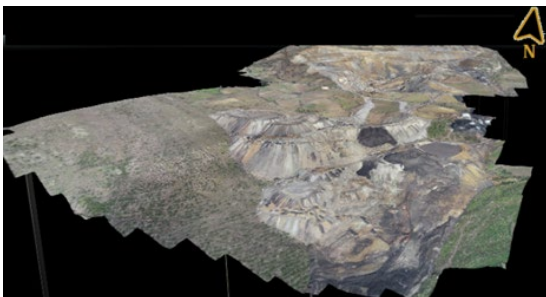
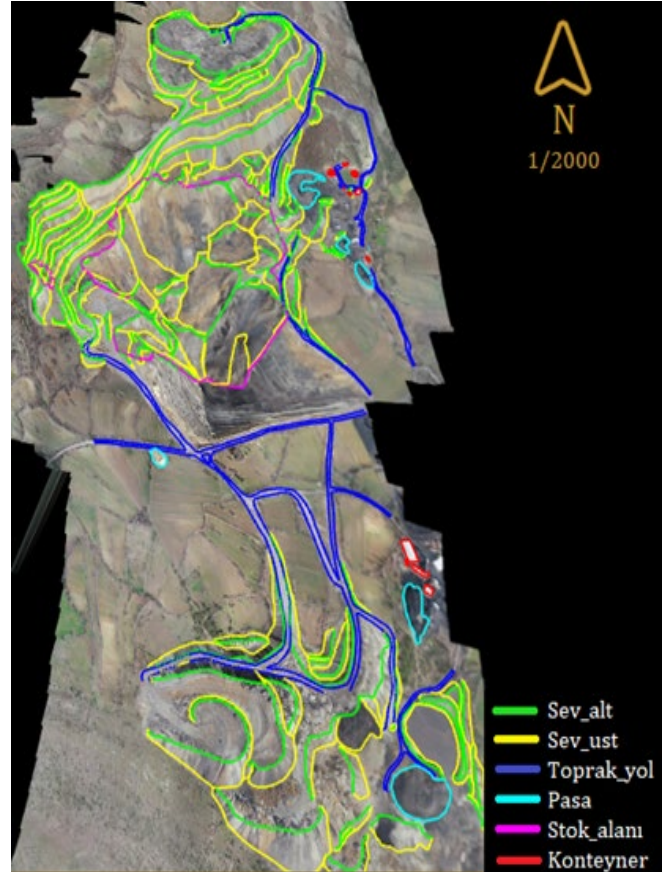
**Tablo 5.** Dengeleme sonucu oluşan hata değerleri.

N.N	Vi Farklar (cm)			Vi Vi Farklar cm <sup>2</sup>		
	Vx	Vy	Vz	VxVx	VyVy	VzVz
P.1	2,31	1,79	-3,49	5,32	3,19	12,16
P.2	0,82	1,50	-4,41	0,67	2,26	19,49
P.3	-2,90	-1,45	-3,03	8,44	2,11	9,17
P.4	0,83	-0,15	-2,28	0,69	0,02	5,18
P.5	2,23	3,58	-1,47	4,95	12,80	2,17
P.6	2,31	3,72	-3,20	5,32	13,80	10,23
P.7	2,88	3,54	2,09	8,28	12,55	4,35
P.8	1,94	1,45	3,40	3,78	2,09	11,57
P.9	1,34	0,83	2,42	1,79	0,69	5,85
P.10	1,06	0,42	2,98	1,13	0,18	8,89

**Tablo 6.** YKN'lerin konum hatası.

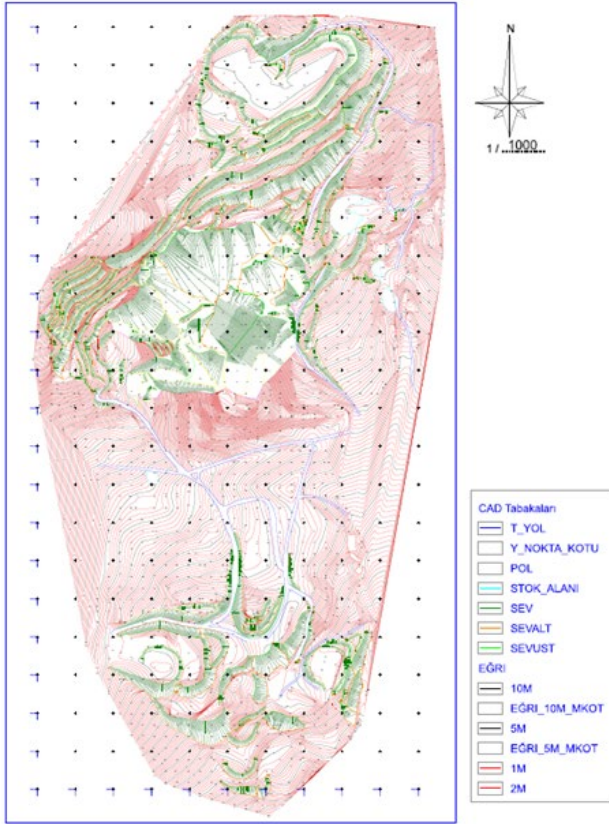
	Vi farklar (cm)		
	Vx	Vy	Vz
Vmin	0.82	0.15	1.47
Vmax	2.9	3.72	4.41
Vort	1.86	1.84	2.88
KOH <sub>x,y,z</sub>	2.1	2.3	3.1

Agisoft Metashape yazılımında ortomozaik ve yükseklik modeli üretildikten sonra 3B çizim için Virtual Surveyor yazılımına geçilmiştir. Virtual Surveyor yazılımında üretilen dijital ürünler verileri kullanılarak (Şekil 7) 3B'lu çizimler yapılabilmektedir. Virtual Surveyor yazılımında maden sahasına ait 3B çizimler Şekil 8'de gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Virtual Surveyor yazılımında ortofoto ve SYM eklenmiş 3B model.**Şekil 8.** Virtual Surveyor yazılımında yapılan 3B çizim.

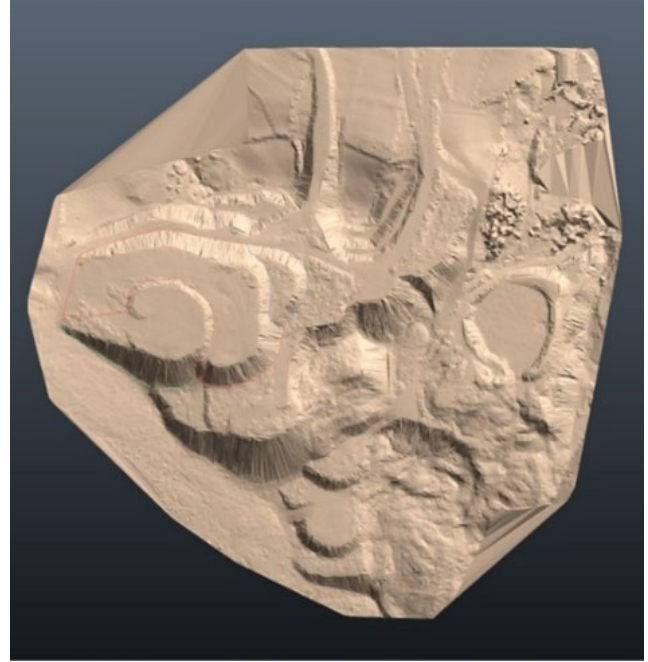


Virtual Surveyor yazılımında gerekli detaylar 3B olarak çizildikten sonra Netcad yazılımında maden sahasına ait 1/1000 ölçeğinde halihazır haritası üretilmiştir (Şekil 9).

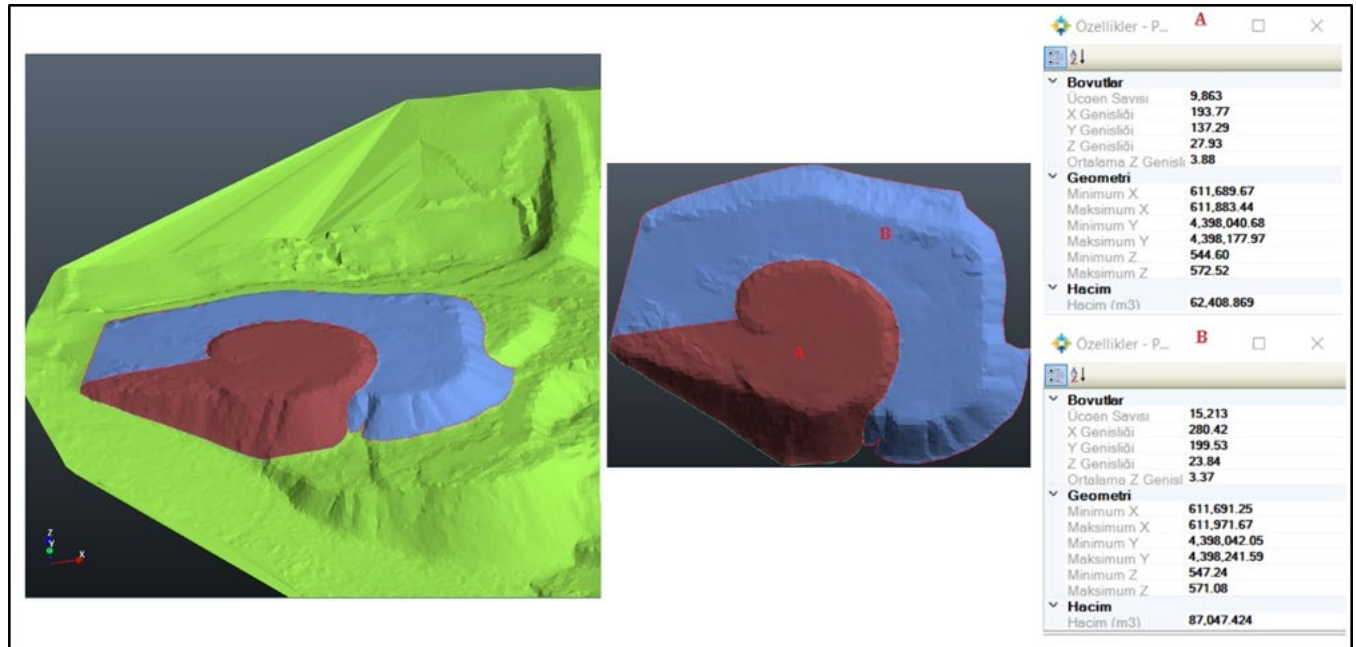


Şekil 9. 1/1000 ölçeğinde halihazır harita.

Netcad yazılımında halihazır harita üretildikten sonra pasa alanına ait hacim hesabı yapılmıştır. Hacim hesabı hem Netcad yazılımında NETPRO/Mine modülünde hem de Virtual Surveyor yazılımında gerçekleştirilmiştir. NETPRO/Mine modülünde ilk olarak üçgen model üzerinden yeni bir yüzey modeli üretilmiştir (Şekil 10). Daha sonra bu yüzey modelinden hacim hesabı yapılmıştır (Şekil 11).



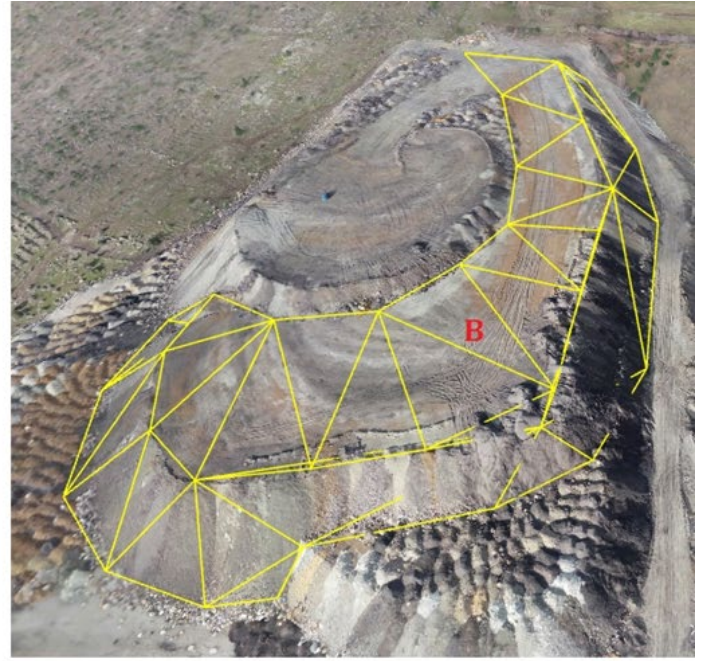
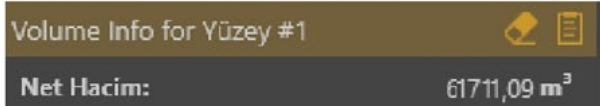
Şekil 10. NETPRO/Mine modülünde üretilen yüzey.



Şekil 11. NETPRO/Mine modülünde yapılan hacim hesabı.

NETPRO/Mine yazılımında "A" ile gösterilen pasa alanı 62408,869 metreküp, "B" ile gösterilen pasa alanı 87047,424 metreküp bulunmuştur.

Virtual Surveyor yazılımında ise üçgenler oluşturulduktan sonra hacim hesaplanacak olan pasaya ait yüzey belirlenmiş ve hacim hesaplatılmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Virtual Surveyor yazılımında hacim hesabı

Virtual Surveyor yazılımında "A" ile gösterilen pasa alanı 61711,09 metreküp, "B" ile gösterilen pasa alanı 89564,53 metreküp bulunmuştur. Arazide GNSS/CORS ölçüm cihazı ile klasik olarak bu pasa alanlarının ölçümü yapılmış olup toplamda A ve B pasa alanı için 810 nokta verisi toplanmıştır. Klasik

olarak toplanan veriler sonucunda, "A" pasasına ait hacim: 60,986.37 metreküp; "B" pasasına ait hacim: 90,147.71 metreküp hesaplanmıştır. Hacim hesabı için yapılan karşılaştırmalar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 7. Hacim karşılaştırması (hacim için birim metreküp'tür)

Pasa Alanı	GNSS/CORS		Netcad NETPRO/Mine		Virtual Surveyor			
	Nokta	Hacim	Hacim	Fark	Yüzde	Hacim	Fark	Yüzde
A	398	62086,370	62408,87	-322,499	100,52	61.711,090	375,280	99,40
B	412	88347,710	87047,42	1300,286	98,53	89.564,530	-1216,820	101,38

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, açık maden ocağında yer alan iki adet pasa alanının hacim hesaplamaları GNSS/CORS ve İHA verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. GNSS/CORS ölçümleri ile elde edilen veriler referans alınarak, İHA ile yapılan ölçümlerin doğruluğu ve tutarlılığı incelenmiştir.

İHA verileri, GNSS/CORS verileri ile yüksek oranda tutarlılık göstermiştir. İHA ile hesaplanan hacimlerin GNSS/CORS verileri ile %99 üzerinde bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir. "A" pasa alanı GNSS/CORS verileri ile 62086.37 metreküp, İHA verileri ile 61711.09 metreküp olarak hesaplanmıştır. "B" pasa alanı GNSS/CORS verileri ile 90147.71 metreküp, İHA verileri ile 89564.53 metreküp olarak hesaplanmıştır. Farklı yazılımlar kullanılarak yapılan hesaplamalarda küçük farklar gözlemlenmiştir, ancak

genel olarak yüksek doğruluk sağlanmıştır. İHA teknolojisi, GNSS/CORS yöntemine göre daha hızlı ve maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır. İHA ile yapılan saha çalışmaları yaklaşık 75 dakika sürerken, GNSS/CORS ölçümleri daha uzun zaman almaktadır. İHA kullanımı, özellikle geniş alanların hızlı ve detaylı bir şekilde haritalanmasında büyük avantaj sağlamaktadır. İHA verileri kullanılarak üretilen sayısal yükseklik modelleri ve ortomozaik haritalar, maden sahasının detaylı ve doğru bir şekilde haritalanmasına olanak tanımıştır. Fotogrametrik değerlendirme sonucunda, İHA verilerinin yüksek mekansal doğruluğa sahip olduğu ve madencilik uygulamalarında güvenilir bir veri kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, İHA teknolojisinin açık maden ocaklarında pasa alanlarının hacim hesaplamasında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. İHA verilerinin

GNSS/CORS verileri ile yüksek oranda uyum göstermesi, bu teknolojinin madencilik sektöründe güvenilir bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır. İHA kullanımının sağladığı zaman ve maliyet avantajları, madencilik operasyonlarının verimliliğini artırmakta ve güvenliği sağlamaktadır. GNSS/CORS verilerinin doğruluğu ile uyumlu olan İHA verileri, madencilik uygulamalarında İHA kullanımının geçerliliğini desteklemektedir. İHA ile yapılan ölçümlerin GNSS/CORS verilerine yakın sonuçlar vermesi, bu teknolojinin hassasiyetini göstermektedir. İHA'ların geniş alanları hızlı bir şekilde haritalama kapasitesi, özellikle büyük ve erişilmesi zor maden sahalarında önemli bir avantaj sunmaktadır. İHA teknolojisinin kullanımı, saha çalışmalarını daha güvenli hale getirmekte ve operatörlerin tehlikeli ortamlarda çalışma riskini azaltmaktadır. Ayrıca, İHA'ların sağladığı yüksek çözünürlüklü veriler, maden sahalarının detaylı incelenmesini ve planlanmasını kolaylaştırmaktadır. İHA teknolojisindeki sürekli gelişmeler, gelecekte madencilik sektöründe daha geniş uygulama alanları yaratacaktır. Gelişmiş sensörler ve yazılımlar, İHA'ların kullanımını daha da yaygınlaştıracaktır.

Bu çalışmanın sonuçları, İHA teknolojisinin madencilik sektöründe daha yaygın bir şekilde benimsenmesine katkıda bulunabilir ve gelecekteki araştırmalar için temel oluşturabilir. Sonuç olarak, İHA teknolojisi, açık maden ocaklarında pasa alanlarının hacim hesaplamasında güvenilir ve etkin bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın bulguları, İHA kullanımının madencilik sektöründe önemli avantajlar sunduğunu ve gelecekte daha geniş uygulama alanlarına sahip olabileceğini göstermektedir.

## 5. Sonuç ve Tartışma

Madencilik alanında en temel gereksinim, birçok projede olduğu gibi altlık amacıyla kullanılan yüksek konum bilgisine sahip temel haritaların sık sık üretilmesidir. Mevcut ve periyodik olarak hazırlanan yüksek konum bilgisine sahip bu haritalar sayesinde daha sonraları yapılacak çalışmalar için hızlı ve hassas bir şekilde üretim planlanması yapılabilmektedir. Bu tarz verilere İHA'lar aracılığı ile ulaşmak zaman ve maliyetten tasarruf sağladığı gibi daha fazla hassas olmaktadır. Madencilik sektöründe; zamandan tasarruf ve ölçüm hassasiyeti, üretim ve ekipman kontrolü, maden haritalarının oluşturulması çok önemli konulardır. Çalışma kapsamında yapılan halihazır harita yapımı, saha çalışması dâhil 6-8 saat sürmüştür. Ayrıca İHA verilerinden üretilen yükseklik modeli gibi sayısal modeller aracılığıyla hacim hesaplamaları yapılabilmektedir. Çalışma yapılan açık maden işletmesinde bulunan 2 adet pasa alanının

arazide GNSS/CORS ölçüm cihazı ile verileri toplanmış ve hacmi hesaplanmıştır. Ayrıca bu iki pasa alanına ait hacim hesaplamaları 2 farklı yazılımda hesaplanmıştır. Farklı yazılımlarda yapılan hacim hesaplamaları paşaların yapısına göre farklılık göstermekte olup Tablo 6'ya bakıldığında yüksek oranda tutarlılık göstermiştir. Ayrıca klasik olarak hacmi hesaplanan pasa alanları yazılımlarda da yüksek doğruluk bulunmuştur. Çalışma sonucunda İHA teknolojisinin açık maden işletmelerinde etkin bir şekilde kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca İHA teknolojisi klasik yöntemlere göre hız ve maliyet açısından daha anlamlı sonuçlar vermektedir.

Bu çalışma, açık maden ocaklarındaki pasa yığınlarının hacim hesaplamasında GNSS/CORS ve İHA teknolojilerini karşılaştırarak her iki yöntemin etkinliğini değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, İHA teknolojisinin madencilik sektöründe geleneksel yöntemlere göre önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymuştur. GNSS/CORS ve İHA verileri karşılaştırıldığında, İHA ile yapılan hacim hesaplamalarının GNSS/CORS ile elde edilen sonuçlarla yüksek oranda tutarlı olduğu görülmüştür. Örneğin, Kun ve Özcan (2019)'da İHA ile yapılan ölçümlerin klasik yöntemlerle yapılan hesaplamalarla uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Bizim çalışmamızda da, GNSS/CORS verileri ile İHA verileri arasındaki farkın %1'in altında olduğu, İHA verilerinin güvenilir ve doğru sonuçlar sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca maden sahalarında İHA kullanımının süre ve maliyet açısından avantajlı olduğu Mantey (2019), çalışmasında da belirtildiği üzere İHA teknolojisinin veri toplama süresini ve maliyetlerini azaltarak madencilik uygulamalarında büyük avantaj sağladığını vurgulanmıştır. Bizim çalışmamızda da benzer sonuçlar elde edilerek GNSS/CORS yöntemine kıyasla saha çalışmaları İHA ile önemli ölçüde hızlanmakta ve maliyetler düşmektedir. İHA'lar, maden sahalarında güvenli ve erişimi zor alanlarda veri toplanmasını sağlamaktadır. Örneğin Cryderman vd. (2014), İHA'ların tehlikeli ortamlarda çalışan operatörlerin güvenliğini artırdığını ve verimliliği artırdığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da İHA'lar kullanılarak yapılan ölçümlerin, operatörlerin tehlikeli alanlarda çalışma riskini azalttığı ve veri toplama sürecini güvenli hale getirdiği doğrulanmıştır. İHA teknolojisi, gelişmiş sensörler ve yazılımlar ile daha yüksek doğruluk ve detaylı veri sağlama kapasitesine sahiptir. Gül (2019) ve Kekeç vd. (2018), İHA fotogrametrisinin maden sahalarında detaylı haritalama ve hacim hesaplamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Yine bu çalışmada kullanılan Agisoft Metashape ve Virtual Surveyor yazılımları ile İHA verilerinden yüksek doğrulukta sayısal yükseklik modelleri ve ortomozaik

haritalar üretilmiştir. Yattığımız çalışmanın sonuçları, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu ve tutarlıdır. Özellikle Kabadayı ve Uysal (2019), İHA fotogrametrisinin madencilik uygulamalarındaki etkinliğini ve doğruluğunu vurgulamışlardır. Bu çalışma ile de İHA teknolojisinin sağladığı yüksek doğruluk ve maliyet etkinliği, madencilik sektöründe daha yaygın bir kullanım alanı bulmasını sağladığı tekrar desteklenmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma, İHA teknolojisinin açık maden ocaklarındaki pasa yığınlarının hacim hesaplamasında etkin ve güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. İHA'ların sağladığı yüksek doğruluk, zaman ve maliyet tasarrufu, madencilik sektöründe önemli avantajlar sunmaktadır. Benzer çalışmaların da desteklediği bu sonuçlar, İHA teknolojisinin madencilik uygulamalarında daha yaygın ve etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmaya; donanım, yazılım ve arşiv desteğinden dolayı İlkin Harita Müh. Değ. Eml. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şirketi sahibi Harita Mühendisi Mürsel Burak Çelik'e ve Şahin Madencilik Müh. Müş. Tic. Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkür ederiz.

### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- Arango, C., & Morales, C. A. (2015). Comparison between multicopter UAV and total station for estimating stockpile volumes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 131-135.
- Barry, P., & Coakley, R. (2013). Accuracy of UAV photogrammetry compared with network RTK GPS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens*, 2, 2731.
- 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.
- Cryderman, C., Mah, S. B., & Shufletoski, A. (2014). Evaluation of UAV photogrammetric accuracy for

- mapping and earthworks computations. *Geomatica*, 68(4), 309-317.
- Çağlayan, U. (2020). İHA Verileri Temelinde Agisoft, Context Capture ve PIX4D Görüntü Eşleştirme Yazılımlarının 3B Konum Doğruluğu Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Zonguldak, Türkiye.
- Dursun, İ. (2022). Akıllı Şehirler İçin 3 Boyutlu Veri Modellerinin Oluşturulması ve Yapı Bilgi Modellerine Entegrasyonu: Köyceğiz Kampüs Örneği. Doktora Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Konya, Türkiye.
- Eisenbeiss H. (2009). UAV Photogrammetry. Doctoral Thesis, *University of Technology Dresden, ETH Zurich, Switzerland*.
- Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37(2008), 1187-1192.
- Fitzpatrick, B. P. (2016). Unmanned aerial systems for surveying and mapping: cost comparison of UAS versus traditional methods of data acquisition. Doctoral dissertation, *University of Southern, California*.
- 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.
- Forum Makine. (2019). İnsansız Hava Araçları sektörlerin geleceğini nasıl değiştirecek? Eylül 2019. Erişim Adresi: <http://www.forummakina.com.tr/tr/haberler/i%C3%87nsansiz-hava-araclari-sektorlerin-gelecegini-nasil-degistirecek-> (Erişim Tarihi: 20.05.2024)
- Gienko, G. A., & Terry, J. P. (2014). Three-dimensional modeling of coastal boulders using multi-view image measurements. *Earth surface processes and Landforms*, 39(7), 853-864.
- Gül, Y. (2019). Açık maden işletmelerinde insansız hava aracı (İHA) uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.
- Hu, Z., Yang, G., Xiao, W., Li, J., Yang, Y., & Yu, Y. (2014). Farmland damage and its impact on the overlapped areas of cropland and coal resources in the eastern plains of China. *Resources, Conservation and Recycling*, 86, 1-8.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29-35.
- Kabadayı, A., & Uysal, M. (2019). İnsansız hava aracı ile elde edilen verilerden binaların tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 8-14.
- Kahveci, M., & Can, N. (2017). İnsansız hava araçları: tarİhçesi, tanımı, dünyada ve türkiYe'deki yasal

- durumu. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(4), 511-535.
- Kaya, Y., Şenol, H. İ., & Polat, N. (2021). Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48-52.
- Kekeç, B., Bilim, N., DüNDAR, S., & Ghiloufi, D. (2018, December). Madencilik faaliyetlerinde insansız hava araçlarının (İHA) kullanımı. In *SETSCI-Conference Proceedings*, 3, 174-178.
- 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.
- Labant, S., Staňková, H., & Weiss, R. (2013). Geodetic determining of stockpile volume of mineral excavated in open pit mine. *GeoScience Engineering*, 59(1).
- Mantey, S. A. V. I. O. U. R. (2019). Suitability of unmanned aerial vehicles for cadastral surveys. *Ghana Mining Journal*, 19(1), 1-8.
- Manyoky, M., Theiler, P., Steudler, D., & Eisenbeiss, H. (2011). Unmanned aerial vehicle in cadastral applications. In *Proceedings of the international conference on unmanned aerial vehicle in geomatics (UAV-G)* (Vol. 38, pp. 57-62). Copernicus.
- Mapeg (2018). Maden Harita Standartları. <https://mapeg.gov.tr/Uploads/MadenHaritaStandartlari/MAPEG%20HAR%C4%B0TA%20STANDARTLARI.pdf> (Erişim Tarihi: 15.05.2024)
- Mapeg Harita Standartları (2018). MAPEG Harita Standartları ve Bu Standartlara Göre İmalat Haritası, Hâlihazır Harita, Havalandırma Haritası, Acil Kaçış Planı Haritası, Termin Planı ve Vaziyet Planının Hazırlanması. Erişim Adresi: <http://www.mapeg.gov.tr/Dergiler/harita%20standartlar%C4%B1/EMADEN-CIKTI-17-12-2018/0-MAPEG-YAYIN/HARITA%20STANDARTLARI/MAPEG%20HARITA%20STANDARTLARI%20RAPORU> (Erişim Tarihi: 15.05.2024)
- Merz, T., & Chapman, S. (2012). Autonomous unmanned helicopter system for remote sensing missions in unknown environments. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 143-148.
- Miljković, S., Kuburić, M., Ogrizović, V., & Delčev, S. (2017, April). Application of Unmanned Aerial Vehicles in determining the cubic contents of material. In *Proceedings of the 5th International Conference Contemporary Achievements in Civil Engineering, Subotica, Serbia*, 21.
- Özdemir, B., & Kumral, M. (2019). A system-wide approach to minimize the operational cost of bench production in open-cast mining operations. *International Journal of Coal Science & Technology*, 6(1), 84-94.
- Park, M. H., Kim, S. G., & Choi, S. Y. (2013). The study about building method of geospatial informations at construction sites by unmanned aircraft system (UAS). *Journal of the Korean Cadastre Information*, 15(1), 145-156.
- Polat, N., & Uysal, M. (2018). An experimental analysis of digital elevation models generated with Lidar Data and UAV photogrammetry. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7), 1135-1142.
- Rathore, I., & Kumar, N. P. (2015). Unlocking the potentiality of uavs in mining industry and its implications. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(3), 852-855.
- Suleman, H. A., & Baffoe, P. E. (2017). Selecting suitable sites for mine waste dumps using GIS techniques at Goldfields, Damang Mine. *Ghana Mining Journal*, 17(1), 9-17.
- Şenol, H. İ., & Orman, E. (2022). Diyarbakır Mardin Kapı'nın yersel fotogrametri yöntemiyle 3B belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 1-6.
- Ulusoy, İ., Şen, E., Tuncer, A., Sönmez, H., & Bayhan, H. (2017). 3D multi-view stereo modelling of an open mine pit using a lightweight UAV. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60(2), 223-242.
- Ulvi, A. (2021). İHA Fotogrametrisine Genel Bakış: Geleneksel Topoğrafik Harita Yapımı Tekniği ile Maliyet Karşılaştırması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 458-471.
- Xiao, W., Chen, J., Da, H., Reng, H., Zhang, J. Y., & Zhang, L. (2018). Inversion and analysis of maize biomass in coal mining subsidence area based on UAV images. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach*, 49, 169-180.
- Xiao, W., Chen, J., Zhao, Y., Hu, Z., Lv, X., & Zhang, S. (2019). Identify maize chlorophyll impacted by coal mining subsidence in high groundwater table area based on UAV remote sensing. *J China Coal Soc*, 44(1), 302-313.
- Yang, G., Li, C., Yu, H., Xu, B., Feng, H., Gao, L., & Zhu, D. (2015). UAV based multi-load remote sensing technologies for wheat breeding information acquirement. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(21), 184-190.
- 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.
- Yücel, M. A., & Turan, R. Y. (2016). Areal change detection and 3D modeling of mine lakes using high-resolution unmanned aerial vehicle images. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41, 4867-4878.

## İnternet Kaynakları

1. <https://www.dronmarket.com/urun/dji-phantom-4-pro-ve-iha-0-egitimi> (Erişim tarihi: 06.04.2024)

2. <https://www.mapsmadeeasy.com/>  
(Erişim Tarihi: 06.04.2024)
3. <http://www.paksoytekNIK.com.tr/index.php/pak-soy-topcon/gnss/gr-5>  
(Erişim Tarihi: 06.04.2024)
4. <https://www.virtual-surveyor.com/en/>  
(Erişim Tarihi: 06.04.2024)
5. <https://www.netcad.com/tr/anasayfa>  
(Erişim Tarihi: 06.04.2024)
6. <https://www.agisoft.com/>  
(Erişim Tarihi: 06.04.202)



© Author(s) 2024.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>