

Maden Sahalarındaki Deformasyonların İHA'lar ile İzlenmesi

Mücahit Emre Oruç^{1*}, Ali Ulvi¹

^{1*} Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye;
(mucahitemre27@gmail.com; aliulvi@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
mucahitemre27@gmail.com

Araştırma Makalesi

Alıntı: Oruç, M. E., & Ulvi, A. (2023). Maden Sahalarındaki Deformasyonların İHA'lar ile İzlenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(2), 43-57.

Geliş : 26.07.2023
Revize : 25.09.2023
Kabul : 23.10.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

Açık ocak madenleri, dünyanın birçok ülkesinde büyük ölçekli kömür, cevher, taş ve diğer minerallerin çıkarılması için kullanılan önemli kaynaklardır. Bu tür madenler, yer altı madenlerine göre daha geniş bir alanda bulunabilmeleri ve üretim maliyetlerinin daha düşük olması nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak açık ocak madenlerinde meydana gelen deformasyonlar, çıkarılan mineral miktarı kadar güvenlik açısından da büyük bir endişe kaynağıdır. Deformasyonlar, yer kabuğunun doğal hareketlerinden veya madencilik işlemi sırasında kayaların hareketinden kaynaklanabilir. Bu deformasyonlar madenlerde çalışan işçilerin hayatını riske atabileceği gibi madenlerin güvenliğini de tehdit edebiliyor. Bu nedenle, deformasyonların erken tespiti, güvenlik önlemlerini artırmak ve açık ocak madenlerinde kaza riskini azaltmak için kritik öneme sahiptir. Geleneksel olarak, insan gözlemleri, ölçümleri ve raporları deformasyonları tespit etmek için kullanılır. Ancak bu yöntemler zaman alıcı, maliyetli ve kapsamlı değildir. Yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte İnsansız Hava Araçları (İHA) gibi cihazlar, açık ocak madenlerindeki deformasyonların tespiti için çok daha etkili bir araç haline gelmiştir. Bu makale, açık ocak madenlerinde meydana gelen deformasyonların İHA'lar tarafından nasıl tespit edilebileceğine odaklanacaktır. İlk olarak, İHA'ların neden deformasyon tespiti için ideal bir araç olduğu tartışılacaktır. Daha sonra İHA'lar kullanılarak yapılan deformasyon tespit yöntemleri detaylı olarak anlatılacak ve bu yöntemlerin açık ocak madenlerinde güvenlik önlemlerinin artırılmasına nasıl katkı sağlayabileceği incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, İHA fotogrametrisi, deformasyon, açık ocak maden ocağı, SfM.

Monitoring Deformations in Mine Sites with UAVs

*Corresponding Author:
mucahitemre27@gmail.com

Research Article

Citation: Oruç, M. E., & Ulvi, A. (2023). Monitoring Deformations in Mine Sites with UAVs. *Turkish Journal of Photogrammetry*, 5(2), 43-57 (in Turkish).

Received : 26.07.2023
Revised : 25.09.2023
Accepted : 23.10.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

Open pit mines are important resources used for the extraction of coal, ore, stone and other minerals in many areas of the world. These types of mines are preferred because they can be found in a wider area than underground mines and their production first place is lower. However, erosion in open pit mines is a major concern in terms of safety as well as the amount of minerals extracted. Deformations can be caused by natural movements of the earth's crust or by the movement of rocks during the mining process. These shocks can endanger the lives of the workers working in the mines, as well as threaten the competitors of the mines. Therefore, early limiting of wear is critical to increase safety measures and reduce accident risks in open pit mines. Traditionally, it is used to detect human observations, measurements and reports. But the time consuming of this intake is not the arrest and the package. With the development of new technologies, devices such as Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have become a much more effective tool for the effects of destruction in open pit mines. This article will focus on how the destructions in open pit mines can be detected by UAVs. First, it will be discussed why UAVs are an ideal tool for their destruction. Then, the destruction detection methods using UAVs will be explained in detail and how these methods can contribute to the limits of security measures in open pit mines will be examined.

Keywords: GNSS, UAV photogrammetry, deformation, open pit mine, SfM.

1. Giriş

Madencilikte deformasyon, açık ocak madenlerinde yüzey hareketleri ve yer altı madenlerinde fay, çökme, kayma gibi deformasyonlar maden sahipleri ve çalışanları için büyük risk oluşturmaktadır. Deformasyonlar maden yüzeyindeki yapıların güvenliğini etkileyebilir ve madencilere ciddi zararlar verebilir. Açık ocak ocaklarında yüzey hareketlerinden kaynaklanan deformasyonlar maden sahibi için ciddi ekonomik kayıplara neden olabilir. Deformasyonlar, maden yüzeyindeki yapıların hasar görmesine ve yeniden inşasına neden olabilir. Bu durum maden sahibine ekonomik zarar verebilir ve madencilik faaliyetlerini durdurabilir. Yeraltı madenlerinde ise deformasyonlar maden çalışanları için büyük tehlike oluşturmaktadır. Deformasyonlar maden galerilerinin çökmesine, kaymasına ve faylanmasıya neden olabilir. Bu, madencilerin hayatlarını riske atıyor ve güvenlikleri için ciddi bir tehdit oluşturuyor. Bu nedenle madencilikte deformasyon tespiti büyük önem taşımaktadır. Deformasyonların izlenmesi, riskli alanların belirlenmesini ve gerekli önlemlerin alınmasını sağlar. Bu önlemler maden çalışanlarının güvenliğini ve maden sahibinin ekonomik çıkarlarını korumak için önemlidir [1-4].

Deformasyon tespiti için kullanılan yöntemler açık ocak ve yer altı madenlerinde farklılık gösterebilir. Bununla birlikte, bazı yaygın yöntemler, Global konumlandırma sistemleri (GPS), maden yüzeyindeki deformasyonları tespit etmek için kullanılabilir. GPS, sabit noktalara yerleştirilen alıcılar ile sürekli ölçüm yapar ve maden yüzeyindeki hareketleri algılar. GPS, yüzey deformasyonlarını tespit etmede oldukça etkilidir ve gerçek zamanlı veriler sağlar. Ayrıca teknolojinin gelişmesiyle birlikte İnsansız Hava Araçları (İHA)'lar da sıklıkla kullanılmaya başlandı. İHA: İHA'lar maden yüzeyindeki deformasyonları tespit etmek için kullanılacak son derece kullanışlı araçlardır. İHA'lar maden yüzeyinin fotoğraf ve videolarını çekebilme ve bu verileri maden yüzeyindeki deformasyonları belirlemek için kullanabilmektedir. Ayrıca gelişen teknoloji ile yaygın olarak kullanılan Lazer tarama teknolojisi de kullanılmaktadır [5, 6].

Bu yöntem maden yüzeyindeki deformasyonların tespitinde kullanılacak oldukça hassas bir yöntemdir. Lazer tarama, yüzeydeki noktaların yüksek hassasiyetle ölçülmesini sağlar ve maden yüzeyindeki deformasyonların tespit edilmesini sağlar. Bir diğer sık kullanılan yöntem ise InSAR: Radyo dalgaları ile maden yüzeyindeki hareketleri ölçmek için kullanılan bir yöntem. InSAR, sabit noktalara yerleştirilen sensörler tarafından toplanan

verileri işleyerek yüzeydeki deformasyonların tespit edilmesini sağlar [7, 8].

Deformasyon tespiti için kullanılan yöntemler madenin cinsine, madenin büyüklüğüne ve madencilik faaliyetinin diğer faktörlerine bağlı olarak değişebilir. Ancak bu yöntemlerin tamamı maden yüzeyindeki veya yer altındaki hareketlerin tespiti için son derece önemlidir. Bu çalışmada açık ocaklarda meydana gelen deformasyonlar İHA'lar yani İHA fotogrametrisi ile belirlenmektedir. İHA, özellikle dronlar, son yıllarda sıklıkla kullanılan ve hızla gelişen bir teknolojidir. İHA'lar önceden belirlenmiş bir alanda uçarak yüksek çözünürlüklü görüntü elde etme ve veri toplama imkânı sağlar. Bu özelliklerinden dolayı İHA'lar açık ocak madenlerindeki deformasyonların tespiti için ideal bir araç haline gelmiştir. İHA'lar kısa sürede geniş bir alanı tarayarak veri toplayabilir ve yazılımlar sayesinde bu veriler hızlı bir şekilde analiz edilebilir. İHA'lar zorlu arazi koşullarında görev yapabilen, yüksek manevra kabiliyetine sahip ve insanların ulaşamadığı alanlara kolayca ulaşabilen cihazlar olmaları nedeniyle açık ocak madenlerindeki deformasyonların tespitinde de son derece etkili bir araçtır. İHA'lar kullanılarak gerçekleştirilen deformasyon tespit yöntemleri arasında en sık kullanılanlar fotogrametri ve LIDAR (Işın-Nokta Mesafe Ölçümü) teknolojileridir [9, 10].

Fotogrametri, hava fotoğrafları çeken İHA'lar tarafından deformasyonların tespit edilmesini ve bu fotoğraflardaki özelliklerin bilgisayar yazılımları ile işlenmesini sağlar. LIDAR teknolojisi ise İHA'ların lazer ışınlarını kullanarak yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu haritalar oluşturmalarını sağlıyor ve bu haritalar deformasyonları tespit etmek için kullanılıyor. Açık ocak madenlerindeki deformasyonların İHA'lar ile tespiti maden işletmecileri ve işçiler için büyük avantaj sağlamaktadır. Bu teknolojinin kullanılması, erken uyarı sistemlerinin kurulmasına, güvenlik önlemlerinin artırılmasına ve olası kazaların önlenmesine yardımcı olabilir. Ayrıca İHA kullanımı ile veri toplama ve analiz süreçleri hızlandırılabilir için madencilik faaliyetlerinde üretim ve verimliliğin artmasına da katkı sağlayabiliyor [11-14]. Açık ocak madenlerinde deformasyon tespiti için İHA'ların kullanılması, geleneksel yöntemlere göre daha etkin ve verimli bir yol sağlamaktadır. Bu teknolojinin yaygınlaşması, madencilik endüstrisinde daha güvenli ve daha verimli bir çalışma ortamı yaratılmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, açık ocak madenlerinde İHA'ların kullanılması, maden sahiplerinin maden rezervlerini daha doğru bir şekilde belirlemesine ve madenleri daha verimli işletmesine olanak sağlayabilir. Ancak İHA kullanımında bazı zorluklar da yaşanıyor. Özellikle İHA'ların açık ocak madenlerinde kullanılabilmesi için bazı yasal ve teknik düzenlemelerin yapılması gerekmektedir. Ayrıca İHA

kullanımı, özellikle havacılık güvenliği açısından da önemli riskler taşıyabilmektedir. Bu nedenle İHA'ların kullanımı sırasında uygun şekilde eğitilmiş personel tarafından yönetilmesi ve havacılık emniyet protokollerine sıkı sıkıya bağlı kalınması gerekmektedir [15, 16]. Bu bağlamda İHA'lar, açık ocak madenlerindeki deformasyonların tespiti için son derece etkili bir araçtır. İHA'ların kullanımı, madenlerde daha verimli, daha güvenli ve çevresel olarak sürdürülebilir bir çalışma ortamı yaratılmasına yardımcı olabilir. Ancak İHA'ları kullanırken dikkat edilmesi gereken yasal, teknik ve güvenlik konuları bulunmaktadır. Bu nedenle, İHA'ların kullanımı konusunda yetkin ve deneyimli personel tarafından yönetilmesi, madencilik sektöründe İHA kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olabilir. İHA'lar ile deformasyon çalışmaları ve benzer çalışmaların literatür taraması yapılarak çalışmalar ve amaçları açıklanarak belirtilmiştir.

Tong vd. [17], yaptıkları bir çalışmada İHA'ların açık ocak madenlerindeki deformasyonların tespitinde kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada, açık ocak madenlerinin farklı yerlerinde çekilen fotoğraflar İHA kullanılarak analiz edilmiş ve madenlerdeki deformasyonların tespitinde kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Benzer şekilde Bui vd. [18], İHA'ların açık ocak madenlerinde kullanımı ele alındı. Bu çalışmada İHA'ların açık ocak madenlerinde çalışma süreçlerinin izlenmesi, madenlerde çevresel etkilerin değerlendirilmesi ve madenlerin daha verimli işletilebilmesi için kullanılabilirliği vurgulanmaktadır. Padró vd. [19], açık ocak madenlerinde stabiliteyi izlemek için İHA'ların kullanımı araştırılmıştır. Bu çalışmada, İHA'ların madenlerdeki stabiliteyi izlemek ve maden sahiplerine zamanında uyarı göndermek için kullanılabilirliği vurgulanmaktadır.

Kara [20], İHA Fotogrametrisi ile Mekânsal Deformasyonların İzlenebilirliğinin İncelenmesi, İHA Fotogrametrisi ile 3 boyutlu mekânsal deformasyonların belirlenmesi ve kullanılan ölçüm yöntemi için çözüm aranmıştır. Yapılan ölçümler ve DEM sonucunda oluşturulan ortomozaik haritalar sayesinde sahaya konulan özel tasarım 30x70 cm plakalar, geliştirilen algoritma ile otomatik olarak tespit edildi. Her bir plaka noktasının İHA görüntüleri alınarak koordineli bir şekilde 3 boyutlu modeller elde edilmiştir. Jeodezik GNSS yöntemi ile elde edilen noktaların koordinatlarına ait hız değerleri kalman filtreleme tekniği ile belirlenmiştir. GNSS ve İHA ile 3 periyotta ölçümler yapılmış, oluşturulan enterpolasyonlu haritalardan belirlenen deformasyonlar yapılan analizler sonucunda yorumlanmıştır. İHA Fotogrametrisi sonucunda geliştirilen algoritma yardımıyla toplanan veriler ile GNSS ile toplanan veriler Kalman Filtreleme yöntemi

ile hız değerleri hesaplanmış ve anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Çalışma sonucunda İHA Fotogrametri yöntemi kullanılarak deformasyonların izlenebilirliği ortaya konulmuştur.

Zeybek ve Şanlıoğlu [21], çalışmaları kapsamında farklı zaman dilimlerinde elde edilen verilerdeki özel detayları otomatik olarak çıkararak görüntülerdeki topografik yüzeyde farklı nedenlerle meydana gelen değişiklikleri gözlemlemişlerdir. Aynı koordinat sistemine sahip periyotlarda elde edilen ortomozaikler arasındaki benzerlik ve farklılıklardan yararlanılarak görüntüler üzerinde topografik yüzey özellikleri incelenebilmektedir. Yüzey hareketlerinde yatay ve düşey yönlerde mekansal deformasyonun belirlenmesi için çalışma alanına ait İHA görüntüleri ile toplanan verilerden ortomozaik ve sayısal arazi modeli verileri kullanılmıştır [15].

Tüm bu çalışmalar, İHA'ların açık ocak madenlerindeki deformasyonları tespit etmek için son derece etkili bir araç olabileceğini göstermektedir. Ancak İHA'ların kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken yasal, teknik ve güvenlik konuları da bulunmakta ve literatürde de bu konuların tartışıldığı görülmektedir. Örneğin, Howard ve ark. (2018),

Ayrıca Shahmoradi vd. [22], İHA'ların madencilik sektöründe kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken güvenlik konuları ele alındı. Bu çalışmada, İHA'ların kullanımı sırasında meydana gelebilecek kazaların önlenmesi için alınması gereken önlemler ve İHA'ların kullanımı sırasında uyulması gereken yasal düzenlemeler hakkında bilgi verilmektedir.

Gül vd. [23], üç farklı açık ocak mermer ocağına bitişik döküm alanındaki deformasyonları izlemek için İHA fotogrametrisi ve GNSS'yi birlikte kullanmıştır. GNSS yöntemi ile yer değiştirme noktaları belirlenmiş, İHA fotogrametrisi ile noktadaki hareketliliğin sebepleri, alan ve hacim boyutları araştırılmıştır. İHA fotogrametrik sonuçları, topografik eğim ve genel eğim eğiminin bölgelerin hareketini tetiklediğini ortaya koymuştur. Bu durumda, döküm sahası için yapılan saha ölçümleri ve değerlendirmeler, toplam şev eğiminin 14°'ye ulaştığı yerlerde mevcut geometrinin korunması ve daha fazla artırılmaması gerektiğini göstermiştir. Sonuçlar, İHA fotogrametri destekli GNSS yönteminin, nedensel parametreler olarak hem sınırların hem de hacimsel boyutsal deformasyonların belirlenmesinde hızlı ve ekonomik bir yöntem olarak desteklendiğini göstermiştir. Önerilen metodoloji ile benzer alanlarda eğim kaymalarına neden olan ana faktörlerin etkin bir şekilde belirlenmesi ve gerekli önlemlerin zamanında alınmasının mümkün olacağından bahsedilmektedir.

Sonuç olarak İHA'ların açık ocak madenlerindeki deformasyonların tespitinde son derece faydalı bir araç olabileceği ancak kullanımını sırasında dikkat edilmesi gereken birçok hususun olduğu literatürde

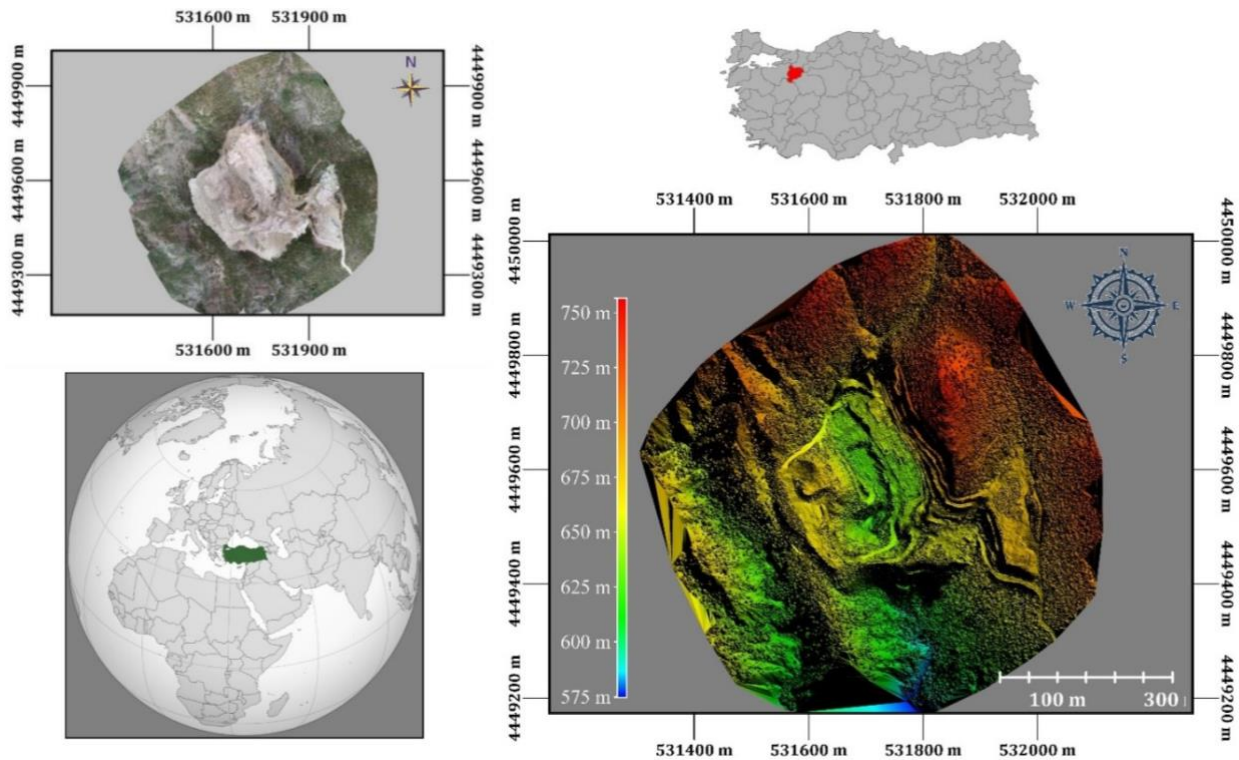
tartışılmaktadır. Bu nedenle İHA'ların madencilik sektöründe kullanımı konusunda daha fazla araştırma yapılmalı ve İHA'ların güvenli kullanımı için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Bu çalışmada deformasyon tespiti için kullanılan plaka yöntemi, bir açık ocak madeninde yüzey deformasyonunu belirlemek için kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Bu yöntemde ocak yüzeyinde belirlenen noktalara plakalar yerleştirilerek deformasyonlar ölçülür. Bu plakalar, şekil modelleme yazılımı tarafından kolaylıkla tespit edilebilen üzerlerindeki hedef işaretlerinden ilham alınarak demir gibi katı bir malzemeden yapılmıştır. Önceki çalışmalardan bir literatür taraması yapılmıştır. Elde edilen verilerden çalışılan alanların hektarlarına göre deformasyon levhası sayıları dikkate alınarak çalışma alanımızda deformasyonda kullanılmak üzere 17 adet nokta belirlenmiştir. Bu plakalar, maden yüzeyinde belirlenen 17 noktaya yerleştirilir. Bu noktalar, maden yüzeyindeki deformasyonun önceden belirlenmiş ve potansiyel olarak riskli olduğu alanlarda bulunur. Plakalar yerleştirildikten sonra belirli aralıklarla ölçümler yapılarak deformasyon miktarı belirlenir.

Bu ölçümler özellikle maden yüzeyindeki deformasyonun dinamik olarak izlenmesi ve riskli alanların belirlenmesi açısından önemlidir. Deformasyon tespit edilirken plakaların doğru yerleştirilmesi ve ölçümlerin doğru yapılması çok önemlidir. Ayrıca verilerin doğru işlenmesi büyük

önem taşımaktadır. Bu veriler özellikle maden yüzeyindeki deformasyonun takibi için değerlidir ve riskli bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilir. Sonuç olarak, deformasyon tespiti için kullanılan deformasyon plakası yöntemi, açık ocak madenlerinde yüzey deformasyonunun belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, deformasyonların belirli noktalara yerleştirilen plakalar vasıtasıyla ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Yapılan ölçümler maden yüzeyindeki deformasyonun izlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır ve doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir.

2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak açık ocaklı bir mermer ocağı tercih edilmiştir. Bilecik ilinin Gölpazarı ilçesine bağlı Büyükbelen Köyü'nde bulunan maden, Bilecik il merkezine 62 km, Gölpazarı ilçe merkezine 17 km uzaklıktadır. Maden sahasının bulunduğu coğrafyada en düşük sıcaklık $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve en yüksek sıcaklık $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında olup, yıllık ortalama sıcaklık $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve yıllık yağış ortalaması 630 mm'dir. Etrafında. Çalışma alanı 400 m genişliğe ve 500 m uzunluğa sahip olup, çöplük/atık alanları ve yaklaşık 20 hektarlık bir alana sahiptir. Arazide yapılan ön ölçümlere göre en alçak (592) ve en yüksek (760) bölgeler arasındaki yükseklik farkı 168 m olarak ölçülmüştür. Çalışma alanının topografyası oldukça engebeli ve yüksek eğimlidir.



Şekil 1. Çalışma alanı.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Deformasyon Plakası (DFP), Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Kontrol Noktalarının Tesis Edilmesi

Açık ocak maden alanlarında meydana gelen deformasyonların ölçümü ve analizi için 17 adet deformasyon noktası ağı (DFP) oluşturulmuştur. Her ölçüm periyodu için yerleri sabit kalan DFP noktalarına ilave olarak Yer Kontrol Noktaları (YKN) ve modelin doğruluğunu test etmek için ayrıca Kontrol Noktaları (KN) tesis edilmiştir. Her yıl bu noktaların GNSS yöntemi ile jeodezik koordinatları kaydedilmiştir. YKN/KN noktaları sırası ile 8/6, 11/7, 11/7 adet olarak belirlenmiştir. Araziye tesisi yapılan YKN'ları her yıl için arazinin 3B model, ortofoto ve DEM haritalarının oluşturulmasında kullanılmış olup deformasyon analizinde kullanılmamıştır. Çalışmada YKN, KN ve DFP olarak kullanılan tüm noktaların operatör hatası olmadan kullanılabilmesi için fotogrametrik yazılımda otomatik olarak algılanması istenmiştir. Bu amaçla planlamanın otomatik olarak belirlenebileceği bir tasarımda hedef noktaları tasarlanmıştır.



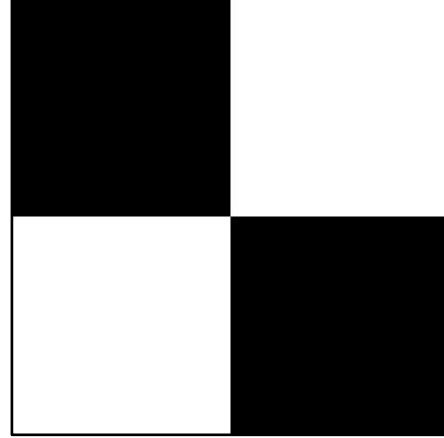
Şekil 2. DFP, YKN ve KN noktalarının hazırlanması.

Oluşturulan DFP, YKN ve KN'ler 1. periyot için toplam 31 nokta olarak belirlendi. Bunlardan 17 adedi her yıl aynı kalarak deformasyon tespitinde kullanılacak noktalar, 14 adedi ise fotogrametrik işlem ve kontrol aşamasında kullanılacak YKN ve KN noktalarıdır. 2. Periyotta 35 DFP-YKN-KN (17-11-7), 3. Periyotta toplam 35 DFP-YKN-KN (17-11-7) vardır.

Tablo 1. DFP, YKN ve KN sayıları.

Periyot	DFP	YKN	KN	Total
1	17	8	6	31
2	17	11	7	35
3	17	11	7	35

Çalışmada öncelikle DFP noktalarının konumu belirlendi. Bu noktaların dağılımı, saha topoğrafyası dikkate alınarak, her kademeyi temsil edecek ve yaklaşık olarak homojen olacak şekilde yapılmıştır. Noktalar, arazide düz ve karasal ölçümlere imkân verecek konumlara yerleştirilmiştir. Sabit plakalardaki boyaların olası sebeplerden etkilenmemesi için her ölçüm öncesi renkler kontrol edildi ve bozulanlar yeniden boyandı.



Şekil 3. Tesis edilen noktaların tasarımı.

Uçuş için gerekli olan DFP-YKN-KN, arazinin yerinde denetimi ile arazinin uygun yerlerine kurulmalıdır. YKN'ler, uçuş irtifası ve yer rengine bağlı olarak (koyu zeminde açık, açık zeminde koyu olmasına dikkat edilerek) Şekil 3'teki gibi çapraz siyah ve beyaz renkler kullanılmıştır. Belirlenen noktalar da kullanılacağından İHA fotogrametrisi için gökyüzü görüntüsü açık alanlarda yapılmalı, tabelalarda görüş açısı en az 60° olmalı, bina, ağaç vb. engeller bulunmamalı. Diğer bir deyişle, kurulacak noktaların hava aracı tarafından görülebilecek bir konumda konumlandırılması gerekmektedir.

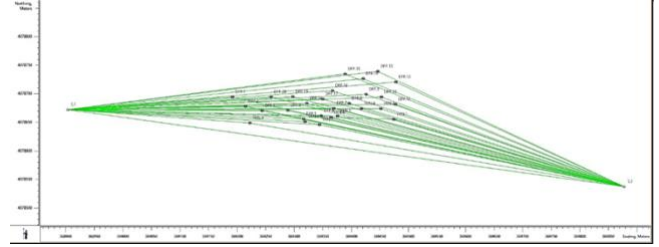
3.2. GNSS ve İHA Fotogrametri Yöntemi

3.2.1. GNSS Yöntemi ve Ölçülerin Dengelenmesi

CORS-TR Sistemi, Türkiye ve KKTC'yi kapsayan toplam 146 sabit istasyondan oluşan ve 7/24 gerçek zamanlı GNSS gözlemi yapan bir sistemdir. Bu nedenle GNSS teknolojisi, mühendislik yapılarının dinamik değerlendirilmesi, zemin hareketlerinin izlenmesi ve deformasyonların belirlenmesi için hızlı veri sağlayan bir teknolojidir [24, 25]. Bununla; TUSAGA-Aktif ile gözlem sonrası veri değerlendirmesi 1 cm doğrulukta nokta yatay konum bilgisi ve 2-3 cm doğrulukta elipsoid yükseklikleri elde edebilmektedir [26]. TUSAGA-Aktif istasyonları, GNSS ile yapılan ölçümlerden elde edilen konum verilerinin dengelenmesi sırasında daha hassas veriler oluşturmak için kullanılabilir. CORS-TR sisteminden

alınacak Rinex verileri ile elde edilen ham ölçüm verileri değerlendirilerek daha hassas ve doğru konum verileri elde edilir. Deformasyon analizlerinde kullanılacak veriler hassas olmalı ve yüksek doğruluk gerektirmelidir. Çünkü ortaya çıkan deformasyonlar mm veya cm hassasiyetinde oluşabilmektedir [27]. Bu doğrultuda oluşturulan noktaların ölçümleri GNSS yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [28]. 1. Dönem ölçümleri 16 Nisan 2020, 2. Dönem ölçümleri 16 Nisan 2021 ve 3. Dönem ölçümleri 16 Nisan 2022 tarihinde yapılmıştır. Ölçümler yıllık bazda 3 periyotta yapılmıştır. Yıllık olarak yapılan ölçümlerde deformasyon noktalarının yerleri sabit tutulmuş ve her periyotta aynı noktalarda ölçümler yapılmıştır. Belirlenen noktaların ölçümleri GNSS ölçüm yöntemi ile yapılmıştır. GNSS ölçümleri için toplam 4 adet Topcon Hiper SR model GPS alıcısı kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan GPS alıcılarından ikisi sabit olarak kurulmuştur. Bu noktalar sabit 1 (S1) ve sabit 2 (S2) noktaları olarak adlandırılır. Diğer 2 GPS alıcısı da DFP, YKN ve KN noktalarını ölçmek için kullanıldı. Teknik olarak statik ve hızlı statik ölçüm kullanılarak noktaların koordinat bilgilerinin en hassas şekilde elde edilmesi amaçlanmaktadır. Aynı şekilde hızlı statik ölçüm ile yer kontrol noktalarının ölçümleri de yapılmıştır. Hızlı statik ölçüm yöntemi ile noktalar arasındaki mesafe 5 km'den kısa olduğu için 20 dakikalık ölçümler yapılmıştır. Sabit noktaların ölçümleri yaklaşık 8 saatlik ölçümlerle sonuçlandırılmıştır. Elde edilen konum verileri daha sonra dijital ortama aktarılarak dengeleme işlemine tabi tutulmuştur. Dengelemede, GPS alıcılarının entegre edildiği yazılım olan magnet tool'lar kullanıldı.

Bu aşamadan önce TUSAGA-Aktif istasyonlarından çalışma alanına yakın dört istasyondan Rinex verileri elde edilmiştir. Bu veriler, 2017 tarihli istasyon noktalarının koordinatları üzerinden Geocalculator açık kaynak yazılımında çağ kaydırma ile günümüze getirilmiştir [29-32]. Daha sonra magnettools yazılımı ile önce sabit noktalar ve istasyon noktaları kendi aralarında dengelenmiş ve sabitler tam olarak koordinat değerlerine ulaşmıştır. Daha sonra aynı şekilde diğer alanda sabitlerin ve ölçülen noktaların sabitlenmesi yapılmıştır. Dengeleme aşaması, önce serbest dengeleme ve ardından temel dengeleme yani en küçük kareler yöntemine göre iki aşamadan oluşur [33-35]. Magnet Tools yazılımında dengeleme yapıldıktan sonra tüm bazların hatasız dengelendiğini gösteren jeodezik ağ modeli verilir. Bu jeodezik ağ, sabit noktalara göre dengelenmiş arazideki deformasyon noktalarını ve İHA fotogrametrisinde kullanılacak YKN'leri göstermektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Jeodezik ağ modeli.

3.2.2. İHA Fotogrametri Yöntemi

İHA, insan olmadan kontrol edilebilen hava araçlarıdır. İlk İHA'lar 1849'da kullanılan balonlarla başlamış, teknolojik gelişmelerle daha gelişmiş İHA'lar ortaya çıkmıştır. İlk motorlu İHA, 1916 yılında I. Dünya Savaşı sırasında İngilizler tarafından kullanıldı. Günümüzde İHA'lar birçok farklı şekil ve boyutta karşımıza çıkıyor. Bazıları birkaç santimetre uzunluğunda olabilirken, diğerleri birkaç metre uzunluğunda olabilir. İHA'lar genellikle kamera, sensör ve diğer cihazlarla donatılmış olup, uzaktan kumandalı veya otopilotludur [36, 37]. Keşif görevleri, izleme, gözetleme, hava saldırıları, askeri strateji, keşif görevleri, sınır koruma gibi askeri amaçlar için kullanılırlar. Ayrıca tarım, ormancılık, arama kurtarma, madencilik, inşaat ve diğer endüstriyel amaçlar için de kullanılırlar. Ayrıca İHA'lar havadan görüntüleme, filme alma, acil durumlarda hava taksi hizmetleri, su altı keşif ve hava taşımacılığı için de kullanılabilir [38-50]. İnsansız Hava Araçları (İHA'lar) özelliklerine göre sınıflandırılabilir.

İHA'ların sınıflandırılmasına ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmiştir:

- Boyuta Göre Sınıflandırma: İHA'lar boyutlarına göre sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada küçük, orta ve büyük boyutlu İHA'lar olarak üç farklı kategoriye ayrılabilirler [51, 52].

- Uçuş İrtifasına Göre Sınıflandırma: İHA'lar uçuş irtifalarına göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada alçak irtifa İHA'lar, orta irtifa İHA'lar ve yüksek irtifa İHA'lar olarak üç farklı kategoriye ayrılabilirler.

- Uçuş Tipine Göre Sınıflandırma: İHA'lar uçuş tiplerine göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada sabit kanatlı İHA'lar, çok rotorlu İHA'lar, tek rotorlu İHA'lar, hibrit İHA'lar gibi farklı türleri bulunmaktadır.

- Kullanım Amacına Göre Sınıflandırma: İHA'lar kullanım amaçlarına göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada askeri İHA'lar, sivil İHA'lar, ticari İHA'lar, tarım İHA'ları, yangınla mücadele İHA'ları gibi farklı türleri bulunmaktadır.

- Motor Gücüne Göre Sınıflandırma: İHA'lar motor gücüne göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada elektrikli İHA'lar, benzinli İHA'lar, gaz türbinli İHA'lar gibi farklı türleri bulunmaktadır.

Bu örnekler, İHA'ların çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulabileceğine dair birkaç örnek olarak verilmiştir. İHA'ların çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması yapılabilmekte ve bu sınıflandırmalar İHA'ların tasarımı, kullanımı ve yönetimi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada açık ocak madeninde meydana gelen deformasyonların belirlenmesi sürecinde GNSS sistemi ve İHA fotogrametrisi birlikte kullanılmıştır. Çalışmada DJI marka dört kanatlı Phantom 4 Pro model İHA kullanılmıştır (Şekil 5). Kullanılan İHA; 4 hücreli 5870 mAH lityum polimer pil ile 30 dakikaya kadar uçabilen ve yaklaşık 2 kg ağırlığında bir İHA'dır. İHA'nın diğer teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 5. Kullanılan İHA.

Tablo 2. DJI Phantom 4 Pro teknik özellikleri.

Nitelikler	Değer
Ağırlık	1375 gr
Batarya	5870 mAH LiPo.
Boyutlar	31cm-35cm.
GPS Modu	GPS
Kamera	4K.
Max hız	50 kph-70 kph.
Uçuş Mesafesi	6500m-7000m.
Uçuş zamanı	30-31 min.
Açıklık	2.8 /f.
Bakış açısı	84 °
Aktif Piksel	20 MP

İHA, hem uzaktan kumanda ile manuel olarak hem de harici bir taşınabilir bilgisayar ve uçuş planı kullanılarak otonom olarak çalıştırılabilir. Uçuş planı yerden 90 m yükseklikte, %80 boyuna bindirme ve %60 enine bindirme olacak şekilde tasarlanmıştır. Fotoğraflar uçuş planına göre otomatik olarak çekildi. Tablo 2, veri toplama hakkında ayrıntılı bilgileri göstermektedir. Uçuş çalışmasının planlanması, projenin önemli bir parçasıdır. Kontrol ve kontrol verilerinin yanı sıra görüntülerin kalitesi büyük ölçüde bu aşamaya bağlıdır.

Uçuşun kendisini planlamak için birkaç ücretsiz yazılım paketi (örneğin Görev Planlayıcıları) vardır. Bu çalışmada görev planlayıcı olarak Pix4D Picture

yazılımı kullanılmıştır. Planlanan uçuş parametreleri bu uçuş yazılımı sayesinde yapılmıştır. Yazılım, arazi kabartması, uçuş süresi, drone özellikleri, gerekli çözünürlük ve çakışma ile kamera özelliklerine göre uçuş özelliklerine karar verebilir. Ayrıca, gerekli yer kontrol noktalarının optimum sayısını ve dağılımını ve YKN'leri gösterecek hedefleri tasarlamak için en uygun boyutu belirler. Uçuş planlaması yapıldıktan ve tablo 3'teki parametreler uçuş görev yazılımına girildikten sonra uçuş gerçekleştirildi. Bu bölüm otomatik olarak tüm dönemlerde aynı parametrelerle uçuşlar yapılarak sonlandırılmıştır (Tablo 3). Elde edilen görüntülerin işlenmesi anlamlı bir veriye dönüştürülerek değerlendirilmek üzere yazılım ortamına aktarılmıştır.

Tablo 3. Uçuş parametreleri.

Özellik	Periyotlar		
	1. Periyot	2. Periyot	3. Periyot
Uçuş Tarihleri	16.04.202	16.04.202	16.04.202
	0	1	2
Uçuş Yüksekliği (m)	90	90	90
Uçuş Hızı	7,2 m/s	7,5 m/s	7,2 m/s
Uçuş zamanı	44 dk.	45 dk.	47 dk.
YÖA (yer örnekleme aralığı)	2.5	2.5	2.5
Görüntü Sayısı	727	815	865
Boyuna bindirme (%)	80	80	80
Enine bindirme (%60)	60	60	60

Bu çalışmada, çalışma alanına ait İHA görüntü verileri toplanarak Agisoft yazılımında işlenmek üzere dijital ortama aktarılmıştır. Çalışmamızın görüntü verilerinin işlenmesi sürecinde projemizde kullanılmak üzere açık ocak olarak belirlenen alana ait tüm görüntü verileri işlenmek üzere Agisoft yazılımına aktarılmıştır. Fotoğrafları toplamak için kullanılan kameranın sensör boyutu ve odak uzaklığı gibi parametreleri, yazılım özellikleri sayesinde otomatik olarak kitaplıktan alınır. Kütüphanede kullanılan dahili yönlendirme parametresi yoksa, kullanıcı tarafından manuel olarak tanımlanmalıdır. Fotoğrafların dijital ortama aktarılmasının ardından fotoğrafların çekim sırası dikkate alınarak Agisoft ortamında çekilen görüntülerin SfM algoritması ile hizalama yani birleştirme işlemi yapılmıştır. Bu aşamadaki sürecin temel amacı, fotoğrafları tasnif etmek ve sıralanan fotoğraflar içerisinde bir ön model oluşturmaktır. Yönlendirme/dengeleme sürecinin ardından yoğun nokta bulutu ve 3D modeller gibi dijital ürünlerin üretimi için yeni bir iş akışı tanımı yapılmıştır. Yeniden yapılanma aşamasında bilgisayarın hafıza alanını korumak için alanlar ayrı ayrı işlenerek bilgisayarın performansının artırılması planlanmaktadır. Sonuç olarak, üç boyutlu fotogerçekçi dokulu bir model oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen nokta bulutlarından her üç dönemde de arazinin ortofoto ve DEM haritaları üretilmiştir.

4. Bulgular

Bu üç ölçüm sırasında DJI Phantom 4 Pro quadcopter İHA kullanıldı. Phantom 4 Pro, öncelikle üstün kamerası ve uçuş süresi nedeniyle seçildi. Bu model, 20 megapiksel 1" sensör ve yaklaşık 84° görüş alanı, f/2,8-f/11 diyafram ve çekim aralığına sahip bir dahili kamera ile donatılmıştır. Dijital kamerada kullanılan sensör 13,2 mm'dir. × 8 mm ve 5472 × 3648 piksel Uçuş süresi normal kullanımda 30 dakika olarak derecelendirilmiştir. İHA kontrolörleri, Maps Made Easy (Map Plot) otomatik uçuş yazılımı kullanılarak duruma göre bir iPad mini'ye bağlanır. Güneş ışınlarının dik geldiği saatlerde gölge alan kalmaması için %80 boyuna %60 enine bindirme oranları ile tam otomatik olarak 11.00-13.00 yani 11.00-13.00 saatleri arasında uçuş planları hazırlandı. Görüntüler çift grid boyunca toplandı. Yer Örnekleme Mesafesi 2,5 cm ve ~90 m irtifa olarak planlanmıştır İHA Fotogrametride uçuş irtifasını etkileyen en önemli parametre YÖA'dır.

İHA'nın ağırlığı ve batarya kapasitesi nedeniyle uzun süreli uçuşlar yapılabilmektedir. Bu nedenle, çoklu uçuşlar nedeniyle, görüntüler arasındaki örtüşmeleri planlanan değerlere yakın tutmak için mutlak irtifalarda uçuş ihtiyacı doğmuştur. Bu nedenle, arazi yüksekliklerinde (yaklaşık 150 m) büyük farklılıklar oluşmasını önlemek için, uçuş otomatik olarak arazi yükseklik farkındalığı modu özelliğinde gerçekleştirildiğinde, sabit bir irtifa gerçekleştirilir görüntülerin örtüşme oranları korunur. Üç ölçüm serisi için sırasıyla 727, 815 ve 865 hava görüntüsü toplandı. Tüm görüntüler İHA üzerinde GNSS alıcısı tarafından belirlenen konum ile coğrafi olarak işaretlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan İHA, Gerçek Zamanlı Kinematığı (RTK) olmayan bir modeldir ve fotogrametrik ürünler elde etmek için YKN gerektirir.

Bu çalışmanın metodolojisine göre GNSS ölçümleri ve İHA uçuşları eş zamanlı olarak gerçekleştirildiğinden, her uçuş öncesi YKN ağı kurulmuş ve hızlı statik GNSS yöntemi ile belirlenmiştir. Hava fotoğraflarının değerlendirilmesinde veri işleme, Agisoft Metashape Professional v. 1.8.4 build 14671 kullanılarak gerçekleştirildi. Standart Metashape iş akışında, kalite ayarları dışındaki parametreler, aksi belirtilmedikçe tüm süreç boyunca varsayılan ayarlar kullanılarak çalıştırıldı. Fotoğraf hizalama ve derinlik haritası kalitesi yüksek olarak ayarlandı. Yüksek kaliteli fotogrametrik işleme, önemli ölçüde genişletilebilir ve büyük veri kümelerinde çok büyük miktarda hesaplama süresi gerektirir.

Görüntüler hizalandıktan sonra model ölçeklendi ve referanslama ve geometrik değerlendirme için hedef işaretleri kullanılarak referans verildi. Yoğun nokta bulutu da agresif derinlik filtrelemesi ile yükseğe

ayarlanmıştır. Yoğun bir nokta bulutu oluşturduktan sonra, ağ katı bir model ve fotogerçekçi bir görünüm vermek için doku (8192 doku boyutu) kaplamaları uygulandı. 3B ağ modeli, doku kaplamadan önce delikler ve kalite açısından incelendi ve aykırı değerler filtrelenerek model temizlendi. Son olarak yüksek kalitede (2,68 cm/piksel) ortofoto ve dijital yükseklik modeli üretilmiştir. Çekilen fotoğraflar değerlendirilerek her dönem için çalışma alanının ortofoto, Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve ortofoto haritası elde edilmiştir.

İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutları, maden sahalarındaki deformasyonların tespiti ve analizinde çok önemli bir araçtır. Bu teknoloji ile maden sahalarının yüzeyindeki değişiklikler hızlı bir şekilde tespit edilerek büyüklük, şekil, konum ve zamanlama hakkında detaylı bilgi sağlanabilmektedir. Bu bilgi, maden operatörlerinin sahada daha etkili planlama yapmasına, riskleri öngörmesine ve harekete geçmesine ve operasyonlarının verimliliğini artırmasına olanak tanır. Özellikle maden sahalarında meydana gelen deformasyonlar doğal afetler veya insan etkisinden kaynaklanabilmektedir [47]. Madenlerde deformasyonlar yapısal bozulma belirtisi olarak görülebiliyorsa ve erken tespit edilerek gerekli önlemler alınabilirse madencilik faaliyetlerinde oluşabilecek ciddi kazaların önüne geçilebilir. Bu nedenle İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutları, maden sahalarında meydana gelen deformasyonların tespiti ve izlenmesi için önemli bir araçtır [23].

Ortaya çıkan nokta bulutları, maden sahasındaki yüzey özelliklerinin ve nesnelere 3B modellerini oluşturur. İHA fotogrametrisi, maden sahasının yüzeyinin hızlı bir şekilde taranmasını sağlayarak nokta bulutları oluşturur. Bu nokta bulutları, maden sahasında meydana gelen deformasyonları tespit etmek için kullanılır. Maden sahalarında meydana gelen deformasyonlar genellikle maden yapıları içindeki gerilmeler ve yer hareketlerinin sonucudur. Bu deformasyonlar maden işletmeleri için büyük risk oluşturmakta ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde ciddi kazalara neden olabilmektedir.

İHA fotogrametrisi, maden sahasındaki deformasyonları tespit etmek için etkili bir araçtır. Nokta bulutları, maden sahasındaki yüzey değişimlerini, çöküntüleri, çatlakları, kaymaları, eğimleri ve diğer deformasyonları ayrıntılı olarak analiz etmek için kullanılır. Bu bilgi madencilik operasyonları için önemli bir planlama aracıdır. Maden sahasındaki deformasyonların erken tespiti işletme maliyetlerini düşürür ve kazaların önlenmesine yardımcı olur.

Elde edilen bulgular, İHA fotogrametrisi ve nokta bulutları ile elde edilen ortofoto ve DEM verilerinin analiz edilmesiyle maden sahasındaki

deformasyonların tespit edilip izlenebileceğini ortaya koymuştur (Şekil 6, 7, 8). Nokta bulutları, maden sahasındaki yüzey özelliklerinin ve nesnelerin 3B modellerini oluşturarak maden sahasındaki deformasyonların tespit edilmesi için önemli bir araçtır [50]. İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutları, maden sahasındaki değişiklikleri tespit etmek için kullanılabilir ve deformasyonların erken tespiti, madencilik operasyonlarının güvenliğini artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Maden sahasındaki nesnelerin hacimlerini ve kütlelerini belirlemek için nokta bulutları da kullanılabilir [47]. Bu bulgular, maden sahasındaki yapıların daha iyi analiz edilebileceğini ve madencilik operasyonlarının güvenliği ve verimliliği için kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Ortaya çıkan nokta bulutları, maden sahasındaki yüzey özelliklerinin ve nesnelerin 3B modellerini oluşturur. İHA fotogrametrisi, maden sahasının yüzeyinin hızlı bir şekilde taranmasını sağlayarak nokta bulutları oluşturur. Bu nokta bulutları, maden sahasında meydana gelen deformasyonları tespit etmek için kullanılır. Bu çalışmada İHA fotogrametrisi ile elde edilen nokta bulutlarının maden sahaslarındaki deformasyonlar için önemi araştırılmıştır. Maden sahaslarında meydana gelen deformasyonlar genellikle maden yapıları içindeki gerilmeler ve yer hareketlerinin sonucudur. Bu deformasyonlar maden işletmeleri için büyük risk oluşturmakta ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde ciddi kazalara neden olabilmektedir.

Bu çalışmada ayrıca İHA fotogrametrisi ile elde edilen ortofotoların ve DEM'lerin maden sahaslarında meydana gelen deformasyonlar için önemi de araştırılmıştır. Ortaya çıkan ortofotolar ve DEM'ler, maden sahaslarındaki değişiklikleri zamansal ve mekansal olarak analiz etmeyi mümkün kılar. Ortaya çıkan değişiklikler, alandaki yapıları daha iyi anlamaya ve incelemeye yardımcı olur. Deformasyonların tespiti genellikle arazinin önceki ortofotoları ile karşılaştırılarak yapılır. Böylece maden sahasının yüzey özelliklerindeki değişimler tespit edilir ve bu değişimler sahanın stabilitesi hakkında bilgi verir. İHA fotogrametrisi ile elde edilen ortofotolar ve DEM'ler, maden sahasındaki deformasyonların tespitinde ve izlenmesinde önemli bir araçtır (Şekil 9). Bu veriler, maden sahasındaki yapıların stabilitesini belirlemek ve deformasyonların nedenlerini belirlemek için kullanılır. Deformasyonların erken tespiti madencilik operasyonlarının güvenliğini artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Bu nedenle İHA fotogrametrisi ile elde edilen veriler madencilik operasyonları için önemli bir planlama aracıdır.

5. Sonuçlar

Açık ocak madenlerinin GNSS (Global Navigation Satellite System) ve İHA (İnsansız Hava Araçları) fotogrametri ölçüm yöntemleri ile ölçülmesi sonucunda elde edilen nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları madenler için oldukça önemli bir araçtır. Öncelikle bu veriler sayesinde maden sahasları hızlı ve hassas bir şekilde ölçülebilmekte bu da madencilik işletmelerinin verimliliğini artırmaktadır. Ayrıca nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları kullanılarak maden sahasındaki değişimlerin tespiti ve takibi yapılabilmektedir. Bu değişiklikler, örneğin maden sahasındaki eğimlerin kayması veya madenlerin genişlemesi olabilir. Bu tür değişikliklerin erken tespiti, madencilik operasyonlarının güvenliğini artırır ve işletme maliyetlerini azaltır. Nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları da maden sahasındaki kaynakların daha verimli yönetilmesine olanak tanır. Bu veriler sayesinde madencilik işletmeleri kaynakları daha verimli kullanabilmektedir. Örneğin maden sahasındaki yer altı kaynakları daha kesin olarak belirlenebilir ve kaynaklar daha etkin yönetilebilir.

Sonuç olarak açık ocak madenlerinin GNSS ve İHA fotogrametri ölçüm yöntemleri ile ölçülmesi sonucunda elde edilen nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları madenlerde oldukça önemlidir. Bu veriler, madencilik operasyonlarının verimliliğini artırırken güvenlik risklerini de azaltırken kaynakların daha verimli yönetilmesine olanak tanır. Elde edilen sonuçlar, açık ocak madenlerinin GNSS ve İHA fotogrametri ölçüm yöntemleri ile ölçülmesi sonucunda elde edilen nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritalarının madenlerde büyük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir. Bu veriler, maden sahaslarının hızlı ve hassas bir şekilde ölçülmesini mümkün kılmakta, işletmelerin verimliliğini artırmaktadır. Maden sahasındaki değişiklikleri tespit etmek ve izlemek için nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları da kullanılabilir. Bu veriler, maden sahasındaki güvenlik risklerinin belirlenmesine yardımcı olur ve işletmelerin güvenliğini artırır.

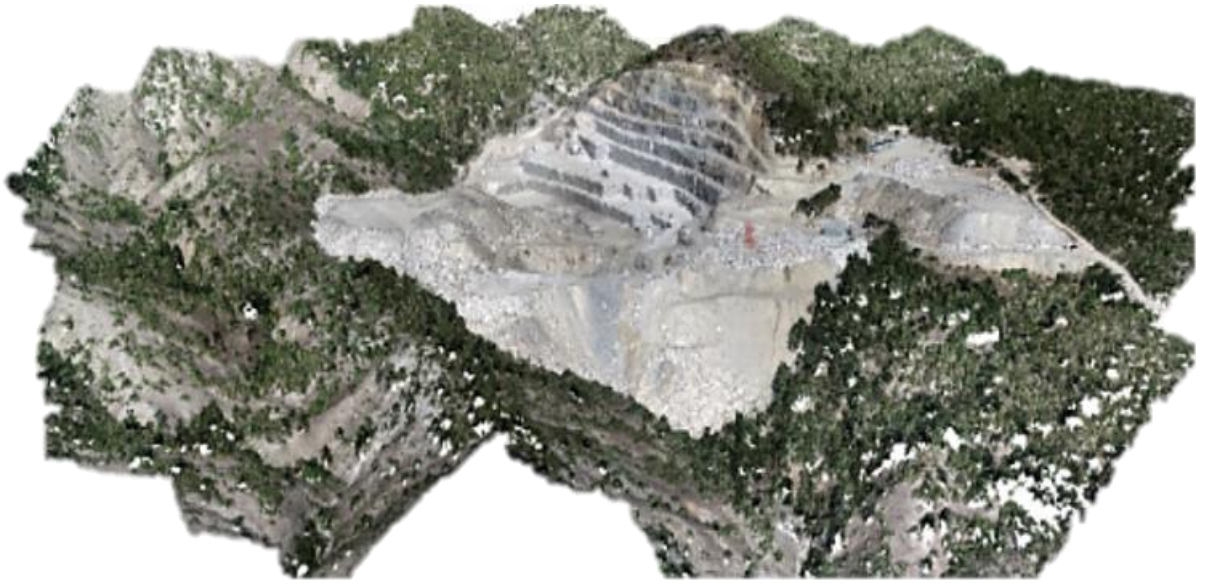
Ayrıca nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları maden sahasındaki kaynakların daha verimli yönetilmesine olanak sağlar. Bu veriler sayesinde madencilik işletmeleri daha az maliyetle daha fazla verim elde edebiliyor. Açık ocak madenlerinin GNSS ve İHA fotogrametri ölçüm yöntemleri ile ölçülmesi sonucunda elde edilen nokta bulutu, ortofoto ve DEM haritaları madenlerde büyük önem arz etmektedir. Bu veriler madencilik operasyonlarının verimliliğini artırırken güvenlik risklerini de azaltıyor ve kaynakların daha etkin yönetilmesini sağlıyor. İHA fotogrametrisi ile elde edilen YKN ve KN noktalarına dayalı GNSS yöntemi ile elde edilen hassas konum verileri, hassas ve yüksek doğruluklu ortofoto ve DEM

haritalarının üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu veriler, maden sahasındaki yüzeyleri çok daha detaylı göstererek, maden işletmelerinin daha doğru ve etkin kararlar vermesini sağlıyor. GNSS yöntemi, GPS gibi uydular kullanılarak gerçekleştirilir ve yüksek hassasiyetli konum verileri sağlar. Bu veriler, İHA fotogrametrisi ile birleştirildiğinde, maden sahasındaki nesnelere son derece hassas bir şekilde ölçülmesine ve ardından ortofoto ve DEM haritalarının oluşturulmasına olanak tanır. Hassas ve oldukça doğru ortofoto ve DEM haritaları, maden sahasının yüzeylerinin daha ayrıntılı olarak gösterilmesini sağlar. Bu veriler sayesinde maden sahasındaki

topografik özellikler, nesnelere yerleşimi, yükseklikler ve diğer önemli bilgiler daha doğru bir şekilde belirlenebilir. Ayrıca bu veriler sayesinde maden sahasındaki değişimler izlenebilmekte ve erken tespit edilebilmektedir. Sonuç olarak GNSS yöntemi ile hassas konum verileri elde edilerek İHA fotogrametrisi ile ölçülen YKN ve KN noktalarına bağlı olarak hassas ve yüksek doğrulukta ortofoto ve DEM haritalarının üretilmesi madenler için önemli bir araçtır. Bu veriler madencilik işletmelerinin daha doğru ve etkin kararlar almasını sağlarken, güvenlik risklerini azaltarak kaynakların daha verimli yönetilmesine de katkı sağlamaktadır.



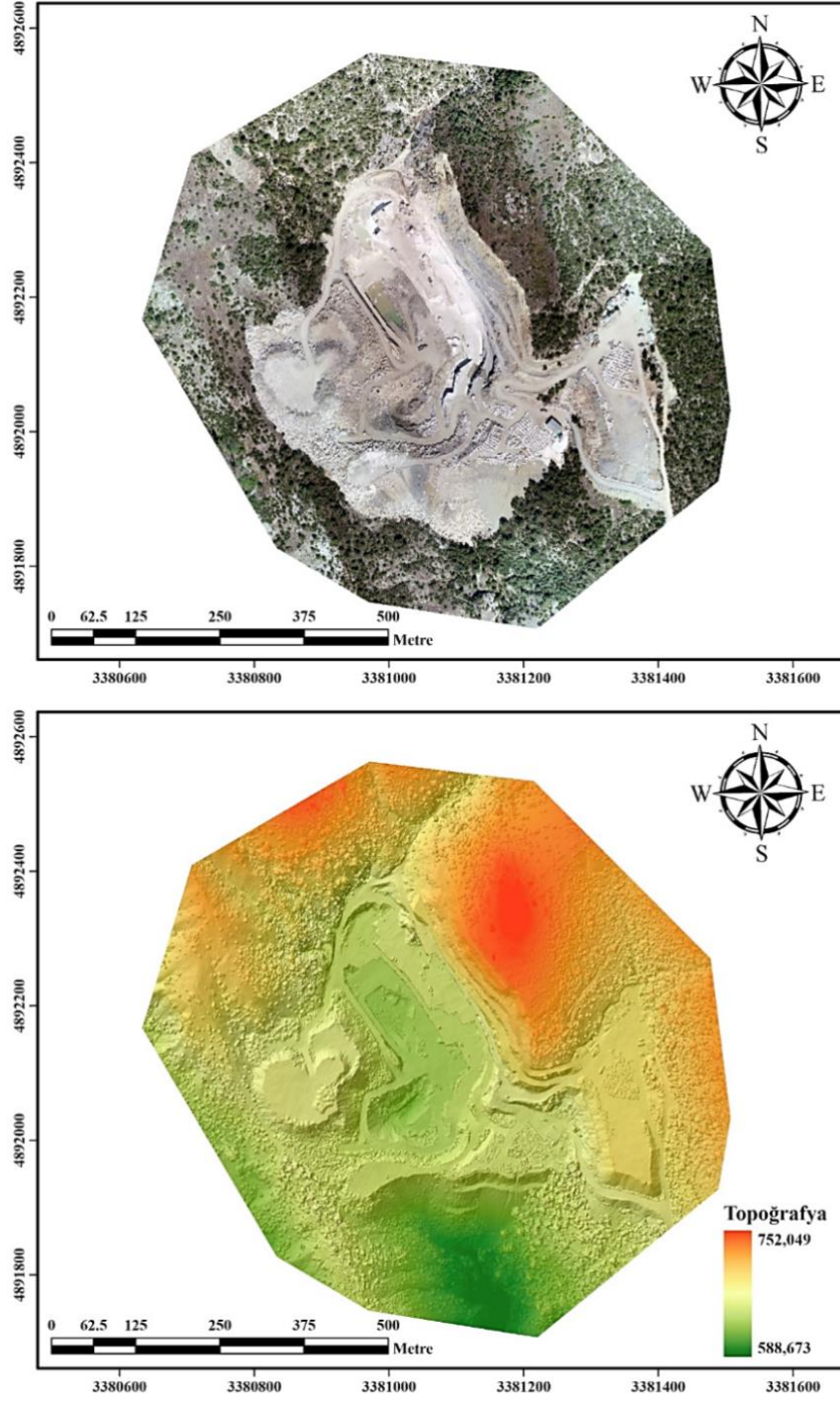
Şekil 6. 1. periyot nokta bulutu.



Şekil 7. 2. periyot nokta bulutu.



Şekil 8. 3. periyot nokta bulutu.



Şekil 9. İHA Fotogrametrisi ile elde edilen Ortofoto ve DEM haritası (1. Periyot).

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Mersin Üniversitesi tarafından Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından 2021-2-TP2-4526 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Mücahit Emre Oruç: Veri toplama, işleme ve analiz
Ali Ulvi: Yazım, değerlendirme ve denetleme.

Çıkar Çatışması Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Yiğit, A. Y., Kaya, Y., & Şenol, H. İ. (2023). Açık maden ocaklarında insansız hava aracı (İHA) kullanımı. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(1), 225-235.
- [2] Kaya Y., Şenol, H. İ., Memduhoğlu, A., Akça, Ş., Ulukavak, M., & Polat, N. (2019). Hacim hesaplarında İHA kullanımı: Osmanbey kampüsü örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 7-10.

- [3] Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry buildings using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 53-61.
- [4] Kusak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping. *Open Geosciences*, 13(1), 1226-1244.
- [5] Kabadayı, A. (2021). Unmanned aerial vehicle usage in rough areas and photogrammetric data generation. *Advanced UAV*, 1(1), 8-14.
- [6] Kabadayı, A. (2022). Maden sahasının insansız hava aracı yardımıyla fotogrametrik yöntemle haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(1), 19-23.
- [7] Jarosz, A., & Wanke, D. (2003). Use of InSAR for monitoring of mining deformations. In *Proc. of Fringe 2003 Workshop*, Frascati, Italy, 1-5.
- [8] Mura J. C., Paradella, W. R., Gama, F. F., Santos, A. R., Galo, M., Camargo, P. O., & Silva, G. G. (2014). Monitoring of surface deformation in open pit mine using DInSAR time-series: a case study in the N5W iron mine (Carajás, Brazil) Using TerraSAR-X Data. *SAR image Analysis, Modeling, and Techniques XIV*, 92(43), 11.
- [9] Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Kuşak, L., Ünel, F. B., & Yakar, M. (2019). Anafi Parrot'un heyelan bölgesi haritalandırılmasında kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 33-37.
- [10] Yakar, M., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Alptekin, A. (2022). Discontinuity set extraction from 3D point clouds obtained by UAV Photogrammetry in a rockfall site. *Survey Review*, 1-13.
- [11] Yılmaz, M., & Uysal, M. (2017). Comparing uniform and random data reduction methods for DTM accuracy. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(1), 9-16.
- [12] Oruç, M. E., & Öztürk, İ. L. (2021). Usability of terrestrial laser technique in forest management planning. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 17-24.
- [13] Oruç, M. E., & Baş, G. (2021). Kompleks yapı ve alanlarda yersel lazer tarama teknolojisinin kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 39-47.
- [14] Kabadayı, A. (2023). Yersel lazer tarama yöntemi ile rölöve ve restütasyon projelerinin hazırlanması; Akşehir Kale Kalıntısı Örneği. *Türkiye Lidar Dergisi*, 5(1), 17-25.
- [15] Hamal, S. N. G. (2022). Accuracy of digital maps produced from UAV images in rural areas. *Advanced UAV*, 2(1), 29-34.
- [16] Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: a case study of ordu province mine site. *Advanced UAV*, 2(2), 35-40.
- [17] Tong, X., Liu, X., Chen, P., Liu, S., Luan, K., Li, L., ... & 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.
- [18] Bui, X. N., Lee, C., Nguyen, Q. L., Adeel, A., Cao, X. C., Nguyen, V. N., ... & 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(2), 223-239.
- [19] Padró, J. C., Cardozo, J., Montero, P., Ruiz-Carulla, R., Alcañiz, J. M., Serra, D., & Carabassa, V. (2022). Drone-based identification of erosive processes in open-pit mining restored areas. *Land*, 11(2), 212.
- [20] Kara, B. C. (2018). İnsansız hava aracı fotogrametrisi ile alansal deformasyonların izlenebilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi*.
- [21] Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ. (2019). Topoğrafik yüzey değişimlerinin görüntü işleme teknikleriyle belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 350-367.
- [22] Shahmoradi, J., Talebi, E., Roghanchi, P., & Hassanalian, M. (2020). A comprehensive review of applications of drone technology in the mining industry. *Drones*, 4(3), 34.
- [23] Gül, Y., Hastaoğlu, K. Ö., & Poyraz, F. (2020). Using the GNSS method assisted with UAV photogrammetry to monitor and determine deformations of a dump site of three open-pit marble mines in eliktekke region, amasya province, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(11), 1-20.
- [24] Lepădatu, A., Ianoschi, R., & Neagu, A. (2011). GNSS technology for structural health monitoring. *Mathematical Modeling in Civil Engineering*, (4).
- [25] Kıranlıoğlu, Y., (2006). GPS yöntemi ile deformasyonların tespitinde gerinimlerin belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi. *Gebze İleri Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- [26] Yıldız, H., (2012). Yükseklik modernizasyonu yaklaşımı: Türkiye için bir inceleme. *Harita Dergisi*, 147, 1-12.
- [27] Turan, S. N., Eyo, E. E., Acar, M., & Bayrak, T. (2012). Periyodik toplanmış TUSAGA-aktif ölçülerinin deformasyon izlemede kullanılabilirliğinin araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(2), 19-29.
- [28] Kahveci, M., & Yıldız, F. (2009). GPS/GNSS: uydularla konum belirleme sistemleri: teori ve uygulama. *Nobel*.
- [29] Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B5).

- [30] Kim, D., Langley, R. B., Bond, J., & Chrzanowski, A. (2003). Local deformation monitoring using GPS in an open pit mine: initial study. *GPS Solutions*, 7, 176-185.
- [31] Wang, J., Gao, J., Liu, C., & Wang, J. (2010). High precision slope deformation monitoring model based on the GPS/Pseudolites technology in open-pit mine. *Mining Science and Technology (China)*, 20(1), 126-132.
- [32] Ma, F., Zhao, H., Zhang, Y., Guo, J., Wei, A., Wu, Z., & Zhang, Y. (2012). GPS monitoring and analysis of ground movement and deformation induced by transition from open-pit to underground mining. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 4(1), 82-87.
- [33] Baryla, R., Paziewski, J., Wielgosz, P., Stepniak, K., & Krukowska, M. (2014). Accuracy assessment of the ground deformation monitoring with the use of GPS local network: open pit mine Koźmin case study. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 11(4), 176.
- [34] Yue, D., Wang, J., Zhou, J., Chen, X., & Ren, H. (2010). Monitoring slope deformation using a 3-D laser image scanning system: a case study. *Mining Science and Technology (China)*, 20(6), 898-903.
- [35] Brown, N., Kaloustian, S., & Roeckle, M. (2007, September). Monitoring of open pit mines using combined GNSS satellite receivers and robotic total stations. In *Slope Stability 2007: Proceedings of the 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering* (417-429). Australian Centre for Geomechanics.
- [36] Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye medresesi örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- [37] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A., & Kaya, Y. (2019). The use of photogrammetric techniques in documenting cultural heritage: the example of Aksaray Selime Sultan tomb. *Universal Journal of Engineering Science*, 7(3), 64-73.
- [38] Ulvi, A., Yakar, M., Yiğit, A. Y., & Kaya, Y. (2020). İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5(1), 22-30.
- [39] Kaya, Y., Yiğit, A. Y., Ulvi, A. Ve Yakar, M. (2021). Arkeolojik alanların dokümantasyonunda fotogrametrik tekniklerinin doğruluklarının karşılaştırmalı analizi: Konya Yunuslar örneği. *Harita Dergisi*, 165, 57-72.
- [40] Yakar, M., Kabadayı, A., Yiğit, A. Y., Çıkıkcı, K., Kaya, Y., & Catin, S. S. (2016). Emir Saltuk kümbeti fotogrametrik röle ve çalışması ve 3 boyutlu modellenmesi. *Geomatik*, 1(1), 14-18.
- [41] Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2019). Kültürel mirasın dijital dokümantasyonu: Taşkent Sultan çeşmesinin fotogrametrik teknikler kullanarak 3B modelinin yapılması. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 1(1), 1-6.
- [42] Hamal, S. N. G., Ulvi, A., & Yiğit, A. Y. (2021). Three-dimensional modeling of an object using underwater photogrammetry. *Advanced Underwater Sciences*, 1(1), 11-15.
- [43] 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.
- [44] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Heyelan bölgesinin İHA kullanarak modellenmesi. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17-21.
- [45] Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 59-63.
- [46] Yılmaz, M., & Uysal, M. (2016). Comparison of data reduction algorithms for LiDAR-derived digital terrain model generalisation. *Area*, 48(4), 521-532.
- [47] Kabadayı, A. (2022). Açık maden ocağında hacim hesabı için GNSS ve İHA ölçümlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 52-57.
- [48] Kabadayı, A., Yunus, K., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(2), 51-58.
- [49] Karataş, L., Alptekin, A., Kanun, E., & Yakar, M. (2022). Tarihi kârgir yapılarda taş malzeme bozulmalarının İHA fotogrametrisi kullanarak tespiti ve belgelenmesi: Mersin Kanlıdivane ören yeri vaka çalışması. *İçel Dergisi*, 2(2), 41-49.
- [50] Oruç, M. E. (2021). The possibilities of data usage obtained from UAV. *Advanced UAV*, 1(1), 15-23.
- [51] Kabadayı, A., & Uysal, M. (2019). İnsansız hava aracı ile elde edilen verilerden binaların tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 8-14.
- [52] Yılmaz, M., Uysal, M., & Yılmaz, İ. (2015). Hava LiDAR Nokta Bulutundan Sayısal Yükseklik Modeli Üretiminde Veri Seyrekleştirme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 15.



© Author(s) 2023.

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