

Açık maden sahalarında kazı sonrası zemin değişiminin izlenmesinde İHA-tabanlı RTK/PPK yönteminin kullanımı: Düzce-Tatlıdere taş ocağı örneği

The use of UAV-based RTK/PPK method in monitoring the ground change after excavation in open-pit mine sites: A case study in the Düzce-Tatlıdere quarry

Yılmaz TÜRK¹
Berkan BALABAN¹
Ece ALKAN¹
Tunahan ÇINAR¹
Abdurrahim AYDIN¹

¹ Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi,
Düzce

Sorumlu yazar (*Corresponding author*)
Yılmaz TÜRK
yilmazturk@duzce.edu.tr

Geliş tarihi (*Received*)

26.03.2022

Kabul Tarihi (*Accepted*)

25.05.2022

Sorumlu editör (*Corresponding editor*)

İbrahim TURNA
turna@ktu.edu.tr

Atıf (*To cite this article*): Türk, Y. , Balaban, B. , Alkan, E. , Çınar, T. & Aydın, A. (2022). Açık maden sahalarında kazı sonrası zemin değişiminin izlenmesinde İHA-tabanlı RTK/PPK yönteminin kullanımı: Düzce-Tatlıdere taş ocağı örneği . Ormanlık Araştırma Dergisi , Karok 2021 , 76-85 . DOI: 10.17568/ogmoad.1093694



Creative Commons Atıf -
Türetilemez 4.0 Uluslararası
Lisansı ile lisanslanmıştır.

Öz

Topografyanın engebeli ve ulaşılması zor olduğu alanlarda yersel ölçüm teknikleri ile ölçüm yapmadaki güçlükler nedeniyle uzaktan algılama teknikleri kullanımını bu tür durumlarda vazgeçilmez kılmaktadır. Gerçek zamanlı kinematik (Real Time Kinematic-RTK) tekniği ile konumsal verilerin doğruluğunda santimetre hassasiyetinde çalışmalar ortaya konulabilmektedir. Ancak topoğrafik yapısı, uydu bazlı konumlamaya uygun olmayan bölgelerde ölçü sonrası veri değerlendirme (Post Processing Kinematik -PPK) ölçüm tekniği alternatif çözüm sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı RTK ve ölçü sonrası veri değerlendirme (PPK) çözümünün Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) ve RTK-CORS tarafından sonradan işlenmiş ve düzeltilmiş konumsal ölçümler yoluyla dengelenmiş fotoğraf çiftlerinin ortaya koyduğu hassasiyet değerlendirmektir. Çalışma alanı olarak Düzce ili Tatlıdere Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalan özel bir taş ocağı seçilmiştir. RTK ve PPK uygulama modülleri olan DJI Phantom 4 RTK insansız hava aracı (İHA) kullanılarak, taş ocağında eş zamanlı RTK ve PPK modlarında iki uçuş gerçekleştirilmiştir. RTK ve PPK yöntemi ile ortofoto üzerinde belirlenen ortalama konumsal doğruluklar sırasıyla 2,405 cm ve 0,814 cm olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre; taş ocağı alanı gibi işletme sonucunda oluşan şevlerde, PPK çözümünün daha uygun olacağı ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arazi Ölçme, İHA, RTK, PPK, Fotogrametri

Abstract

The use of remote sensing techniques makes it indispensable in such cases due to the difficulties in measuring with terrestrial measurement techniques in areas where the topography is rough and difficult to reach. With the Real-Time Kinematic (RTK) technique, studies can be performed with centimetre-level precision in the accuracy of spatial data. However, the Post-Processing Kinematic (PPK) technique provides an alternative solution in regions whose topographic structure is not suitable for satellite-based positioning. The aim of this study is to evaluate the sensitivity of the RTK and PPK solution by pairs of stabilized photographs through post-processed and corrected spatial measurements by the Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and RTK-CORS network. A special quarry within the boundaries of the Düzce/Tatlıdere Forestry Operations Directorate was chosen as the study area. Using a DJI Phantom 4 RTK unmanned aerial vehicle (UAV), which has RTK and PPK modules, two simultaneous flights in RTK and PPK modes were carried out in the quarry. The average position accuracies determined on the orthophoto images received by using RTK and PPK methods were obtained as 2.405 cm and 0.814 cm, respectively. According to these results, it has been revealed that the PPK solution would be more appropriate for the slopes formed as a result of the operation, such as the quarry area.

Keywords: Field Survey, UAVs, RTK, PPK, Photogrammetry

1. Giriş

Dünyada insan nüfusunun artmasına paralel olarak doğal kaynakların tüketiminde artış gözlenmektedir. Doğal kaynakların yönetimi ve kullanımında sürdürülebilirlik ilkesi gözetilmekte olup; belirli aralıklarla gözlemleri ve ölçümleri gerektirmektedir. Bu gözlem ve ölçümler ekonomik, ekolojik ve sosyal dengeleri içeren birçok farklı disiplinlerarası araştırmayı kapsamaktadır. Doğal kaynakların yönetiminde kullanma ve koruma dengesini gözetilen çalışmalarda karar destek sistemlerinin kullanımı önemli bir araçtır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama (UA) teknikleri hemen bütün doğal kaynak yönetimi bilimi ile alakalı araştırmalarda tercih edilmektedir. Geliştirilen teknolojiye paralel olarak CBS ve UA tekniklerinin ortaya koyacağı başarının artırılmasında ise veri üretim hassasiyeti ve doğruluğu önemli araştırma başlıkları altında yer almaktadır.

İnsan ihtiyaçlarının karşılanmasında doğal kaynakların artması sonucunda çevreye duyarlı yönetim ve işletme bilinci gelişmiştir. Bunun sonucu olarak insan eliyle oluşturulmuş ve geri dönüşümünün neredeyse imkânsız olduğu mühendislik çalışmalarında yüksek doğrulukta veri üretiminin önemi ortaya çıkmıştır. Özellikle insanlığın yararına sunulan ve kullanılan madenler genellikle orman sayılan doğal yaşam alanlarındaki yüzey madencilik faaliyetleriyle elde edilmektedir. Sonuçta maden sahalarında işletme amacıyla inşaat işlerini içeren birçok geoteknik uygulama gerçekleştirilerek doğal zemin yapısı ve toprak örtüsü değiştirilmektedir. Yüzey madenciliğinin gerçekleştirildiği arazi sınırlarında ve yakın çevresinde meydana gelebilecek olumsuzlukların azaltılması veya iyileştirilmesi amacıyla farklı kategorilerde önlemler alınmaktadır (Festin ve ark., 2019). Bu önlemler restorasyon veya rehabilitasyon çalışmalarına konu önlemlerin alınmasını içermektedir. Maden ve taş ocağı alanlarının doğaya yeniden kazandırma çalışmaları için hazırlanan veya bu amaçla seçilen projenin uygulanması sonucunda ortaya çıkacak yapının veya oluşan yeni alanın kullanımında, yerel koşullara ve çevre koşullarına uyum sağlanarak, tüm canlılar için güvenli bir ortam oluşturulur (Anonim, 2010).

Yüzey madenciliği faaliyetleri sırasında ve sonrasında gerçekleştirilen mühendislik çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalarda inşaat işlerini içeren çalışmalar hem madencilik çalışmalarında hem iş(çi) güvenliğinin sağlanması hem de terk edilen madenlerin çevreye vereceği zararın azaltılması oldukça önemlidir (DeJong ve ark., 2015). Mühendislik bilimi içerisinde yüzey madenciliği

sonucunda oluşan kazı şevlerinde stabilizasyon önemli bir yer tutmaktadır. Şevlerde gözlenebilecek düşme, devrilme, kayma, yayılma, akma veya birleşik duraylılık türleri meydana gelebilmektedir (Varnes, 1978; Öz, 2005).

Yüzey madenciliği faaliyetleri esnasında ve sonrasında ortaya çıkan materyallerin depolandığı alanlarda veya oluşturulan şevlerde; şevi oluşturan malzemenin yer çekimine karşı koyamayarak aşağı yönlü hareket etmektedir. Duraylılık etkilerinin azaltılması ve doğal yapısı bozulmuş sahaların doğaya yeniden kazandırma çalışmaları, doğal ya da insan eliyle şekillendirilmiş ortam ve malzeme üzerinde yapılmaktadır (Anonim, 2010, Narendra ve ark., 2021). Böylece çevreye duyarlı bir çalışma faaliyeti dışında duraylılık üzerine etkili faktörler ortadan kaldırılmaktadır veya azaltılmaktadır. Sonuç olarak, zeminde biriktirilen veya oluşturulan (stok ve atık sahaları gibi) malzeme biriktirilen veya bir yapının maruz kaldığı gerilmenin ortadan kaldırılarak önemli bir deformasyona veya hareketin önlenmesi amacıyla ölçme bilimden ve tekniklerinden yararlanılmaktadır (Festin ve ark., 2019; Ren ve ark., 2021).

Zor arazi koşullarının bulunduğu dağlık alanlarda geleneksel ölçme teknikleri ile veri elde etmek oldukça zahmetli ve yorucudur. Maliyeti yüksek olan geleneksel yersel ölçüm teknikleri yerine günümüzde UA yöntemleri daha çok tercih edilmektedir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yersel, hava ve uydu tabanlı veri toplama yöntemleri hız ve maliyet açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Modern yöntem ve araçlarla toplanan veriler hızlı bir şekilde analiz edilerek uygulamalı disiplinlerin kullanımına sunulmaktadır (Kabadayı ve Uysal, 2019).

Son yıllarda geliştirilen robotik sistemler araştırmacılara farklı ölçme teknikleri sunarak zamandan ve ekonomiden tasarruf sağlamaktadır. Hızla ivme kazanan bu teknikler arasında yakın resim fotogrametri kapsamında değerlendirilen ve çeşitli sınıflara ayrılan İHA platformları yer almaktadır (Watts ve ark., 2012). Ormancılık, ziraat, maden, inşaat gibi bilimlere kapsayan ölçme ve değerlendirme çalışmalarında zamansal esneklik ve hassas veri üretme imkanından dolayı tercih edilmektedir (Akgül ve ark., 2016; Tercan 2018; Buğday, 2018; Colomina ve Molina, 2014).

Madencilik faaliyetlerinin izlenmesinde İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri önemli bir yere sahiptir. Doğal yaşam alanlarının iyileştirilmesi ve düzenlenmesi için hazırlanan veya bu amaçla seçilen projenin uygulanmasında İHA sistemlerinden de yararlanılmaktadır (Ren ve ark., 2021). Taş ocağı

işletme izin alanları sınırlarının takibinde, mücavir alan sınırları içerisinde veya dışında yerleşim yeri olarak kullanabilecek veya gününbirlik kullanıma açılması planlanan alanlarda yamaç ve şev duraylılığının açılardırma ile yapılması durumunda; şev açısı, şev basamak yüksekliği, şev basamak genişliği, vb. kriterlerin takibinde ve kazı-dolgu hacminin hesaplanmasında (Raeva ve ark., 2016; Tucci ve ark., 2019; Canh ve ark., 2020; Türk ve ark., 2021) İHA sistemleri ölçme tekniği olarak kullanılabilir (Mete ve Özcan, 2019; Yavuz, 2019).

İHA platformlarının kullanımının yaygınlaşmasında yeni nesil görüntü işleme tekniklerinin etkisi oldukça fazladır. Fotogrametrinin dönüşü olarak nitelendirilen Structure-from-motion (SfM) algoritmasının dijital ortamda artan kullanımı ise İHA ve sistemlerinin geliştirilmesinde büyük paya sahiptir (Gülci ve ark., 2021). İHA ve sistemleri, küresel navigasyon uydusu sistemi (GNSS) alıcıları, ölçü birimi (IMU) ve diğer birçok sensörle donatılmıştır. Bu sistem ve sensörlerin bilinmesi Structure-from-Motion (SfM) tekniği ile gerçekleştirilen 2 Boyutlu düzlemden elde edilen blok görüntülerin 3 Boyutlu hale getirilmesinde etkilidir. SfM mantığı ile çalışan birçok ticari veya açık kaynak kodlu yazılım ile yüksek çözünürlükte sayısal yükseklik modelleri (SYM) ve ortofotolar kolaylıkla oluşturmaktadır (Shervais, 2015; Wallace, 2016). SfM mantığı, görüntü alımından önce kameraların konumu veya yer kontrol noktaları hakkında bilgi gerektirmez. Konum, yön ve geometri, çoklu görüntülerdeki özelliklerin otomatik eşleştirilmesi kullanılarak yeniden yapılandırılmaktadır (Westoby ve ark., 2012). Uzaysal referans bilgisi kullanılmayan görüntülerden üretilen modelin uygun bir ölçeği yoktur. Fakat fotogrametrik yöntemle elde edilen modellerin hassasiyetin artırılmasında kusursuz bir fotoğraf alım planının gerçekleştirilmesi ve gerekiyorsa yer kontrol noktalarının kullanımıyla fotoğrafların dengelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Gülci ve ark., 2021; Özcan, 2017; Eisenbeiss, H., 2009). Bir diğer ifadeyle, modelin ölçeklendirilmesi ve hassasiyetinin artırılmasında yer kontrol noktaları (YKN) veya GNSS-GPS'lerden elde edilen konumsal etiketli görüntüler kullanılmaktadır (Tomaščík ve ark., 2019).

Yüksek hassasiyet ve doğruluk gerektiren modellerde İHA üzerinde bulunan GNSS-GPS modülünden elde edilen konum bilgileri yetersiz kalmaktadır. İHA'nın konum parametrelerinin santimetre hassasiyetinde doğruluğa sahip farklı GNSS teknikleri ile ulaşılabilmektedir (Rehak ve ark., 2013). Bu yüksek hassasiyetli doğrudan coğrafi referanslama, gerçek zamanlı kinematik (RTK) ve işlem sonrası kinematik (PPK) teknolojileri içerir (Tad-

dia ve ark., 2020).

RTK tekniği, uydusu tabanlı konum doğruluğunu en yakın baz istasyonlarından sağlayarak elde edilen konum verilerinin hassasiyetini cm duyarlılıkta vermektedir. Ancak topoğrafik yapısı, veri sağlayan istasyonların kapsama alanı sınırları, uydusu bazlı konumlamaya uygun olmayan bölgelerde PPK ölçüm tekniği alternatif çözüm sağlamaktadır. Eker ve ark. (2021) İHA tabanlı RTK ve PPK yöntemlerini beş yaklaşımla karşılaştırmışlardır. Çalışmada farklı yüzey türleri (yani yollar, gölgeler, çalılar, kayalar, ağaçlar ve zemin) için Z-yönündeki RMS hata oranları farklılık göstermiştir. Türk ve Öcalan (2020) yapmış oldukları çalışmada GNSS konumlama teknikleri açısından gelişim dinamikleri vurgulanarak, özelinde İHA-fotogrametrisi bağlamında elde edilecek ürün doğrulukları için YKN'li ve YKN'siz çözümleri karşılaştırmışlardır. Çalışmada YKN'lere gereksinim duyulmadan doğrudan konumlandırma ile yüksek doğrulukta (<= 10 cm) fotogrametrik ürünlerin elde edilmesindeki yaklaşımlar test edilerek araştırılmış İHA sistemleri ile YKN kullanmaksızın tarım, ormancılık vb. çalışmalarda gereksinim duyulan en uygun doğrulukta fotogrametrik ürünler bu yaklaşımla elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada İHA ile yüzey madenciliği faaliyetleri gerçekleştiren taş ocağının izlenmesinde PPK ve RTK yöntemlerinin iş-zaman ve doğruluk analizleri değerlendirilmiştir. İHA-SfM yöntemine ait avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Bu RTK ve PPK çözümünün, GNSS ve RTK-CORS tipi GPS ile ölçülmüş veriler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Taş ocaklarının faaliyetleri ve faaliyet sonrası çalışmalarında izlenmesinde ve şev geometrilerinin ölçülmesindeki kullanılabilirliği incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma alanı olarak Batı Karadeniz Bölgesinin Güneybatısında yer alan Düzce Orman İşletme Müdürlüğü bünyesinde Tatlıdere Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalan özel bir taş ocağı seçilmiştir (Şekil 1).

Çalışmada DJI Phantom 4 RTK İHA ve CHCN X91 GNSS kullanılmıştır (Şekil 2). DJI Phantom 4 RTK platformunda üretici firma tarafından sağlanan görünür aralıkta (RGB) fotoğraf çekebilen 20 megapiksel çözünürlükte kamera bulunmaktadır. İHA sistemi üzerinde yüksek konum doğruluğu sağlayan çok frekanslı bir RTK/PPK GNSS modülü bulunmaktadır (DJI, 2022). Verilerin işlenmesi,



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresi
Figure 1. Study area and surroundings

görselleştirilmesi ve analizlerinin yapılmasında; Inter® Xeon® CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz 48 GB işlemci modeli ile 4 GB AMD FirePro W5100 ekran kartı teknik özelliğine sahip iş istasyonu kullanılmıştır.

dir. İHA uçuşunun gerçekleştirilmesinde optimum hava koşulları rüzgar ve yağışın olmadığı bulutlu bir gökyüzünün olduğu gün tercih edilmiştir (Lindner ve ark., 2016).



Şekil 2. İHA Sistemi: a) DJI Phantom 4 RTK, çalışmada kullanılan CHCN; b) X91 GNSS alıcısı (Eker ve ark., 2020).

Figure 2. UAV System: DJI Phantom 4 RTK (a), CHCN X91 GNSS receiver (b) used in the study (Eker ve ark., 2020).

2.2. Yöntem

2.2.1. İHA ile sayısal görüntülerin alınması

İHA ile görüntü alımına ait işlemlerin temel adımları; arazi öncesi hazırlık ve uçuş planlarının hazırlanması, arazide uçuşun gerçekleştirilmesi (RTK ve PPK mode) ve uçuş sonrası işlemlerdir. Arazi öncesi hazırlık safhasında, alana hareket etmeden önce hava koşulları ve ilgili alanın topografyası gibi bazı ön bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir.

Uçuş planlama işlemi DJI Phantom 4 RTK sisteminin kumandasından DJI GS RTK uygulamasını ile oluşturulmuştur. Bu kapsamda öncelikle çalışma alanı için Global Mapper yazılımında SYM verisi elde edilmiştir (Global Mapper, 2022). Alanın SYM verisi ve uçuşu yapılan alanın sınırlarını kapsayan bir vektör veri (KML formatında) SD kart ile kumandaya aktarılmıştır (Şekil 3). Daha sonra alanın büyüklüğü ve İHA'nın üzerindeki kamera ve maksimum uçuş süresi batarya kapasitesine bağlı olarak süre dikkate hesaplanarak fotogrametrik uçuş planı gerçekleştirilmiştir (Gülci ve ark., 2021; Erdin, 1992).



Şekil 3. SYM verisi elde edilmesi ve uçuş planının hazırlanması

Figure 3. Obtaining DEM data and preparing the flight plan

RTK ve PPK uygulama modülleri olan DJI Phantom-4 RTK İHA kullanılarak, taş ocağında aynı gün ve saat içerisinde ardı ardına RTK ve PPK modlarında iki uçuş gerçekleştirilmiştir.

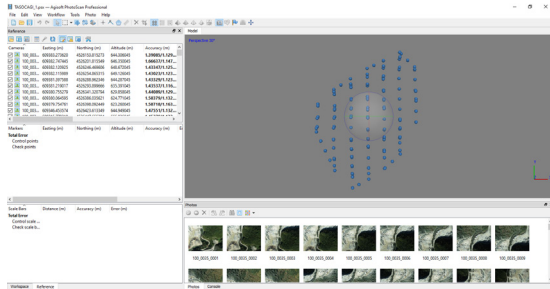
İHA uçuşlarında çekilen fotoğraflar %60 ön ve %70

yan bindirme oranlarına sahiptir. Uçuş yüksekliği 150 m ve uçuş modu adaptif olarak gerçekleştirilmiştir. RTK uçuş planı 5 dk 21 sn, PPK uçuş planı ise 3 dk 34 sn olarak planlanmıştır. PPK statik ölçü konumlandırması için çözüm olarak CHCN X91 GNSS alıcısı kullanılmıştır. PPK modunda İHA havadayken, “Rinex.obs” (RINEX gözlem verileri) gezici gözlem dosyası doğrudan SD hafıza kartına kaydedilmiştir. GNSS alıcısı, koordinatları bilinen bir yere tripod ile sabitlenmiş ve 200 cm anten yüksekliğinde statik modda ölçüm başlatılmıştır.

RINEX gözlem verilerinin uçuşun tamamını kapsaması gerektiğinden, statik veri alımı, İHA uçuşundan önce ve sonra en az 15 dakika olmak üzere 40 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Statik veri, GNSS alıcısının özel bir dosya formatı olan “HCN” uzantılı dosyası olarak alıcının dahili belleğine kaydedilmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere, RTK modda İHA uçuşundan 130 bindirmeli fotoğraf, PPK yöntemi için İHA GNSS modda uçuşundan 131 bindirmeli fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. İHA görüntülerin işlenmesi ve RTK/PPK yöntemlerinin karşılaştırılması

Uçuş sonrası ofis çalışmaları kapsamında İHA ile alınan görüntülerin işlenerek yüksek çözünürlükte ve doğrulukta nokta bulutu, SYM ve ortofoto görüntüsü üretilmesinde Agisoft Metashape User Manual: Standard Edition, Version 1.7 yazılımı kullanılmıştır (Agisoft, 2021) (Şekil 4).



Şekil 4. Agisoft Metashape User Manual: Standard Edition, Version 1.7 yazılımında verilerin işlenmesi
Figure 4. Data processing in Agisoft Metashape User Manual: Standard Edition, version 1.7

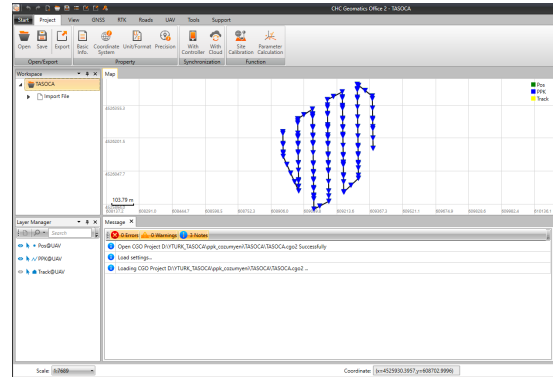
Windows 10 64-bit işletim sistemine sahip bir bilgisayar üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Görüntü yöneltme işlemi doğruluk seviyesi orta (medium) olarak ayarlanmışken, diğer derinlik haritaları üretimi (depth maps), yoğun nokta bulutu (dense cloud) üretimi aşamalarında kalite ayarları yüksek (high) olarak seçilmiştir.

Görüntülerin işlenmesi sonucunda üretilen yoğun

nokta bulutları “*.las” formatında diğer raster veriler (ortomozaik ve SYM) “*.tif” formatında kaydedilmiştir. RTK modunda alınan görüntüler Agisoft Metashape yazılımı kullanılarak SYM ve ortomozaik üretimi gerçekleştirilmiştir.

PPK modunda alınan görüntüler için kamera konumlarının düzeltilmesi CHC Geomatics Office 2 yazılımı kullanılarak yapılmıştır (CHC, 2018) (Şekil 5).

Gezici ve baz gözlem dosyaları için “PPKRAW”, GNSS baz istasyonu için “HCN” dosyaları yazılıma aktarılmıştır. Aktarımdan sonra düzeltilen kamera konumları bir CSV dosyası olarak kaydedilmiştir. Böylece fotoğraflar dengelenmiştir.

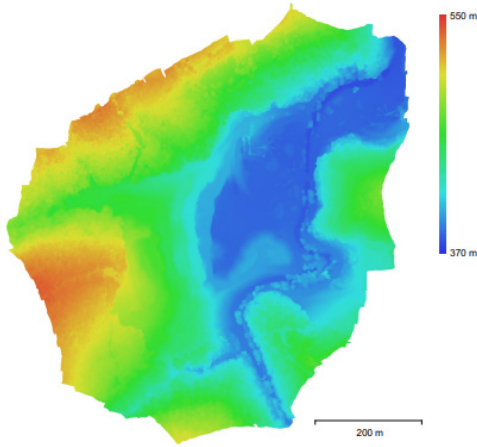


Şekil 5. CHC Geomatics Office 2 PPK dengeleme yazılımında fotoğraf konumlarının düzeltilmesi
Figure 5. Correction of photo positions in CHC Geomatics Office 2 PPK stabilization software

CSV olarak kaydedilen düzeltilmiş kamera konumları Agisoft Metashape yazılımında düzeltilmemiş kamera konumları ile değiştirilerek PPK verileri çözümlenmiş ve dengelenmiş olarak ortomozaik ve SYM üretilmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7)



Şekil 6. Alanın yeniden yapılandırılmış ortofoto görüntüsü
Figure 6. Reconstructed orthophoto of the area



Şekil 7. Alanın yeniden yapılandırılmış sayısal yükseklik modeli
Figure 7. Reconstructed digital elevation model of the area

Fotoğraf hizalama ve optimizasyon sürecinde PPK ve RTK verilerinin hesaplanan kamera konumlarının X, Y, Z, XY ve toplam hata için ortalama hata oranları hesaplanmıştır. Burada;

X hatası (m): Tüm kameralarda X koordinatı için ortalama karekök hatası.

Y hatası (m): Tüm kameralarda Y koordinatı için ortalama karekök hatası.

XY hatası (m): Tüm kameralarda X ve Y koordinatları için ortalama karekök hatası.

Z hatası (m): Tüm kameralarda Z koordinatı için ortalama karekök hatası.

Toplam hata (m): Tüm kameralarda X, Y, Z koordinatları için ortalama karekök hatasıdır (Agisoft, 2021)

Ortalama hata aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$\text{Toplam Hata} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(X_{i,t} - X_{i,g})^2 + (Y_{i,t} - Y_{i,g})^2 + (Z_{i,t} - Z_{i,g})^2]}{n}}$$

Formülde yer alan;

$X_{i,g}$ i kamera konumu için X koordinatının giriş değeridir,

$X_{i,t}$ i kamera konumu için X koordinatının tahmini değeridir,

$Y_{i,g}$ i kamera konumu için Y koordinatının giriş değeridir,

$Y_{i,t}$ i kamera konumu için Y koordinatının tahmini değeridir,

$Z_{i,g}$ i kamera konumu için Z koordinatının giriş değeridir ve

$Z_{i,t}$ i kamera konumu için Z koordinatının tahmini değeridir.

2.2.3. PPK ve RTK ortofoto görüntülerinde uzunluk ölçümleri

PPK ve RTK görüntülerini karşılaştırmak için çalışma alanı içerisinde her iki görüntüde de yer alan noktalardaki (şev basamağı, bina çatısı, sabit değişmeyen cisimler vb.) uzunluklar ArcGIS 10.3 yazılımında oluşturulan çizgi vektör verisi ile sayısallaştırılmış, öznitelik verisinde her bir yerin uzunlukları belirlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. PPK (solda) ve RTK (sağda) görüntülerinde belirlenen noktalardaki uzunlukların ölçümü
Figure 8. Measurement of the lengths of the determined points in the PPK (left) and RTK (right) images

Verilerin normal dağılıp dağılmadıkları Kolmogorov-Smirnov normal dağılım testi ile hesaplanmıştır. Veriler normal dağılım göstermediği için karekök dönüşümü uygulanarak normal dağılımları sağlanmıştır ($p > 0.05$). PPK ve RTK görüntü verilerinden elde edilen noktalar arasındaki uzunluk farklarının olup olmadığı araştırılmıştır.

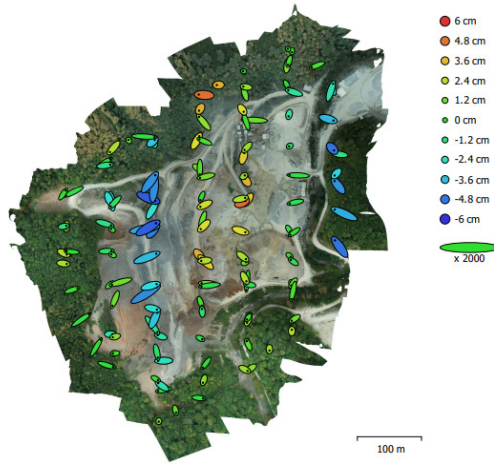
Değerler arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığını anlayabilmek için bağımlı iki örnek t-testi (paired-samples t-testi) uygulanmıştır. Bir grupta yer alan n birimden farklı zamanlarda, farklı işlemlerden elde edilmiş iki veri setinin farklarının ortalamalara göre veri kümesinin rastgele örneklerden oluşup oluşmadığını test etmek için bağımlı iki

örnek t-testi uygulanmaktadır. (Özdamar, 2002). Yine her iki görüntü verisinde ölçülen noktalar arasındaki uzunluk ilişkileri pearson korelasyon katsayısı hesaplamalarıyla ortaya konmuştur.

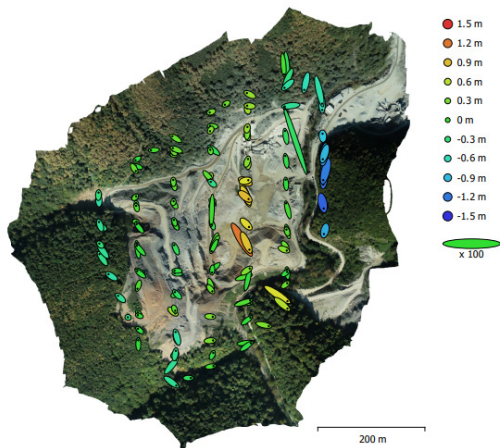
3. Bulgular

3.1 RTK ve PPK yöntem bulguları

Arazi sonrası büro işlemlerinde RTK ve PPK uçuşlardan elde edilen fotoğraflar ile hem yatay (X ve Y) hem dikey (Z) konum doğruluklarını değerlendiren fotogrametrik ürünler (orto-foto ve sayısal yükseklik modeli (SYM)) oluşturulmuştur. RTK ve PPK yöntemi sonucunda oluşturulan orto-foto görüntülerdeki tüm kameraların lokasyon (mekii) hata tahminleri RTK için Şekil 9'daki ve PPK için Şekil 10'daki gibidir.



Şekil 9. RTK kamera konumu ve hata tahminleri.
Figure 9. RTK camera locations and error estimates.



Şekil 10. PPK kamera konumu ve hata tahminleri.
Figure 10. PPK camera locations and error estimates

Elde edilen hata tahminleri sonucunda RTK ve PPK yöntemlerinde karşılaştırmalı olarak X, Y ve

Z yönünde hesaplanan toplam ortalama kamera konum hata sonuçları Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde; RTK yöntemi ile elde edilen modelin konumsal karesel ortalama hatası 2,405 cm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. RTK yöntemiyle üretilen ortofoto üretiminde kullanılan kamera konumlarına ait hata bilgileri
Table 1. Error information of camera positions used in orthophoto production produced by the RTK method

Düzlem	Hata (cm)
X	0,652
Y	0,521
Z	2,255
XY	0,835
Toplam	2,405

X - Boylam, Y- Enlem, Z - Rakım, X - Longitude, Y- Latitude, Z - Altitude

PPK yönteminde dengeleme çözümü yapılmadan önce toplam kamere konumu hatası 47,410 cm bulunmuş, Tablo 2'de de görüleceği üzere PPK yöntemi dengeleme çözümü sonrası elde edilen modelin karesel ortalama hatası 0,814 cm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. PPK yöntemiyle yeniden yapılandırılmış ortofoto üretiminde kullanılan kamera konumlarına ait hata bilgileri
Table 2. Average camera position errors reconstructed by the PPK method

Düzlem	Hata (cm)
X	0,378
Y	0,245
Z	0,678
XY	0,450
Total	0,814

RTK ve dengelenmiş PPK çözümü ile hesaplanan kamera konumlarının hataları ve yöntemlerin toplam karesel hata ortalamaları karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir. Hem yatay (X ve Y) hem dikey (Z) düzleminde konum doğruluklarını değerlendiren fotogrametrik ortofoto ve sayısal yükseklik modeli ortalama karekök hataları (OKH) hesaplanmıştır. RTK ve PPK yöntemi ile ortofoto üzerinde belirlenen toplam konum doğrulukları sırasıyla 2,405 cm ve 0,814 cm olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Ortalama kamera konum hataları
Table 3. Average camera location errors

	RTK uçuş (cm)	PPK uçuş (cm)
X error	0,652	0,377
Y error	0,521	0,245
Z error	2,255	0,678
XY error	0,835	0,450
Total error	2,405	0,814

3.2 PPK ve RTK ortofoto ölçümlerine ilişkin bulgular

PPK ve RTK ortofoto görüntülerinden el edilen uzunluk ölçümleri Tablo 4'te verilmiştir. PPK yöntemi ile elde edilen ortofotodan alınan uzunluk ile RTK yöntemi ile elde edilen ortofotodan alınan karşılaştırmalı uzunluk ölçümleri ortalaması sırasıyla 8,638 m ve RTK'da 8,607 m olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre iki yöntemin ortalama uzunluk ölçüm değerleri arasında yaklaşık 0.03 m fark çıkmıştır.

Tablo 4. PPK ve RTK ortofoto görüntülerinden el edilen uzunluk ölçümleri

Table 4. Length measurements obtained from orthophoto images taken using RTK and PPK methods

Nokta No	PPK (m)	RTK (m)
1	12,862	12,773
2	6,762	6,790
3	2,992	3,242
4	2,939	2,871
5	7,108	7,069
6	6,571	6,616
7	11,658	11,733
8	11,031	11,006
9	6,166	6,021
10	4,884	4,840
11	3,577	3,519
12	5,929	5,809
13	6,732	6,555
14	3,864	3,807
15	4,030	4,006
16	4,794	4,835
17	8,092	8,027
18	4,544	4,608
19	4,815	4,766
20	2,430	2,450
21	14,396	14,439
22	11,757	11,743
23	11,760	11,774
24	7,116	7,064
25	22,907	22,881
26	3,836	3,874
27	4,097	3,768
28	18,726	18,891
29	24,453	24,042
30	18,308	18,391
Ort.	8,638	8,607

PPK ve RTK görüntülerinde ölçülen uzunluklar arasında fark olup olmadığını anlayabilmek için bağımlı iki örnek t-testi (paired-samples t-testi) yapılmış, istatistiki analiz sonucuna göre ise PPK değeri ile RTK değeri arasında fark bulunmamıştır

($p>0.05$). PPK ve RTK görüntü uzunlukları arasındaki ilişkileri belirlemek için yapılan korelasyon testi sonucunda ise PPK ve RTK arasında pozitif yönde korelasyon tespit edilmiştir ($p<0.05$).

4. Tartışma ve Sonuç

Çalışma alanında RTK ve PPK yöntemi ile ortofoto üzerinde belirlenen ortalama kamera konum doğrulukları sırasıyla 2,405 cm ve 0,814 cm olarak elde edilmiştir. Benzer konumlarda bulunan açık maden sahalarında zamansal gözlemlerde PPK yönteminin RTK yönteminden daha avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Hesaplanan konumsal doğrulukların bir başka çalışmada farklı çıkacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun nedeni fotogrametrik uçuş planlamalarında ki farklılıklar (bindirme oranı, uçuş yüksekliği, uçuş hızı ve uçuş güzergâhı gibi), çevresel koşullar (rüzgâr hızı, güneşlilik gibi) ve uçuş ekibinin deneyimi ön plana çıkmaktadır (Türk ve Öcalan, 2020). Oldukça basit ama karmaşık iş ve işlemlerin izlenmesinde deneyimli uçuş personellerinin jeodezik veri/model üretim hassasiyetindeki payı ise azımsanamayacak derecede önemlidir (Giordan ve ark., 2020).

Bu sonuçlara göre, Orman Genel Müdürlüğü tarafından verilen taş ocakları izin sınırlarının takibinde, şev basamak genişliği tespitinde PPK yönteminin RTK yöntemine göre konum doğruluğu açısından birbirine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Kısaca, açık maden sahaların izlenmesi ve kontrollerinde İHA fotogrametrisi uygun maliyetli bir ölçme tekniği sunmaktadır (Gül, 2019; Kun ve Özcan 2019). Konumu belirlenecek nokta hareketsiz ise (nirenge, poligon, detay) statik konum belirleme; hareketli ise (İHA) kinematik konum belirlemeden söz edilir. Arazi ölçümlerden daha hassas sonuçlar elde etmek için büro ortamında değerlendirilmesi de (post-processing) mümkündür.

Taş ocağı alanında yer kontrol noktalarına gereksinim duyulmadan doğrudan konumlandırma ile yüksek doğrulukta (≤ 10 cm) fotogrametrik ürünlerin elde edilmesi de test edilerek araştırılmış ve sunulmuştur. Sonuç olarak İHA sistemleri ile YKN kullanmaksızın ormancılık vb. çalışmalarda gereksinim duyulan en uygun doğrulukta fotogrametrik ürünlerin bu yaklaşımla elde edilebileceği görülmüştür (Tomaščík ve ark., 2019; Türk ve Öcalan, 2020).

İHA uygulamalarında mutlak anlamda doğrudan konumlandırma yönteminin; taş ocağı gibi ulaşılması güç ve çoğunlukla dağlık alanlara (ormancılık, milli parklar, vb.) yakın olan arazilerde, konumsal bilginin RTK-CORS ağı ile elde edilmesi oldukça zor veya imkânsızdır. RTK ölçümde doğ-

ruluk değerinin yaklaşık 8 cm'den büyük olması, belirsizlik çözümünde (fixed solution) uydulara kilitlenmede ve sürekli izlemede bir sorun olduğunun göstergesi olabilmektedir. Bu çalışmada taş ocağı alanlarında, GNSS alıcılarında yaşanan uydu hatalarını en aza indirebilecek bir sistem olan statik kurulum ile sonradan değerlendirme yöntemi olan PPK yönteminin konumsal doğruluk ölçütlerinde daha faydalı olduğu ortaya çıkmaktadır (Eker ve ark., 2021). Bununla birlikte PPK ile fotogrametrik dengeleme süreci RTK yöntemine göre model oluşturma aşamalarında harcanan zamanın daha uzun olduğunu göstermektedir. Ancak RTK-CORS kullanım maliyeti ise PPK yöntemine göre uygun maliyetlidir (Giordan ve ark., 2020)

Sivil amaçlı kullanıma sunulan birçok uygun maliyetli İHA (Drone)'lar uygun maliyetli GNSS modülleri taşımaktadır. Bu nedenle, İHA-fotogrametrisi uygulamalarında yer kontrol noktası kullanımını en uygun çözümler için kritik öneme sahiptir ve gereklidir. Özellikle sarp ve dağlık alanlarda İHA tabanlı fotogrametrik modellerin üretiminde YKN'lerin önemi artmaktadır (Žabota ve Kobal 2021). Ancak gelişen ve değişen İHA (Drone) teknolojisi, gelişmiş GNSS kullanımı ile konum belirlemede, uygulamanın niteliği ve elde edilecek fotogrametrik ürünlerin doğruluğu açısından kullanıcılar kabul edilebilir hassasiyete sahip modellerin oluşturulmasında alternatifler sunmaktadır.

Açıklama

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi'nin 50. yılına özel etkinlikleri kapsamında, 6 - 9 Aralık 2021 tarihleri arasında düzenlenen IV. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur. Ancak, tam metin halinde hiçbir yerde yayımlanmamıştır.

Kaynaklar

Agisoft Metashape User Manual, 2021. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.7 https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_7_en.pdf (Ziyaret tarihi: 27.05.2021).

Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A., Gülcü, S., Öztürk, T. 2016. İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66 (1) , 104-118.

Anonim, 2010. Madencilik Faaliyetleri ile Bozulan Arazilerin Doğaya Yeniden Kazandırılması Yönetmeliği, 23 Ocak 2010 tarih ve 27471 sayılı Resmi Gazete.

Buğday, E. 2018. Capabilities of using UAVs in forest road construction activities. *European Journal of Forest Engineering*, 4(2), 56-62.

Canh, V.L., Cuong, X. C., Viet, H. L., Tien, D., 2020. Volume computation of quarries in vietnam based on unmanned aerial vehicle (UAV) data, *Journal of Mining and Earth Sciences*, 61(1), 21-30.

CHC, 2018. <https://chcnv.com/about-us/news-detail/chcnv-geomatics-office-software-2.0-release> (Ziyaret tarihi: 20.08.2021).

Colomina, I., Molina, P. 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.

DeJong, J., Tibbett, M., Fourie, A. 2015. Geotechnical systems that evolve with ecological processes. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 1067-1082.

DJI, 2022. <https://providyo.com/dji-p4-multispectral> (Ziyaret tarihi: 20.02.2022).

Eisenbeiss, H. 2009. UAV photogrammetry. Doctoral Thesis, University of Technology Dresden, Zurich, Switzerland.

Eker, R., Alkan, E., Aydın, A., 2021. A comparative analysis of uav-rtk and uav-ppk methods in mapping different surface types. *European Journal of Forest Engineering*, 7(1):12-25.

Erdin, K., 1992. Fotogrametri. İstanbul Üniversitesi Matbaası, İstanbul.

Sandell, F.E., Tigabu, M., Chileshe, M.N., Syampungani, S., Odén, P.C. 2019. Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. *Journal of Forestry Research* 30(2), 381-396.

Giordan, D., Adams, M. S., Aicardi, I., Alicandro, M., Allasia, P., Baldo, M., Troilo, F. 2020. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(7), 3437-3481.

Global Mapper, 2022. <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/> (Ziyaret tarihi: 20.02.2022).

Gül, Y. 2019. Açık Maden İşletmelerinde İnsansız Hava Aracı (İHA) Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.

Gülcü, S., Yurtseven, H., Akgül, M. 2021. Düşük maliyetli insansız hava araçları için uçuş öncesi blok planlamanın değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 114-126.

Kabadayı, A., Uysal, M. 2019. İnsansız hava aracı ile elde edilen verilerden binaların tespiti, *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1); 08-14.

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.

Lindner, G., Schraml, K., Mansberger, R., Hübl, J. (2016). UAV monitoring and documentation of a large

landslide. *Applied Geomatics*, 8(1), 1-11.

Raeva, P. L., Filipovaa, S. L., Filipova, D. G., 2016. Volume computation of a stockpile – a study case comparing gps and uav measurements in an open pit quarry. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.

Rehak, M., Mabillard, R., Skaloud, J., 2013. A micro-UAV with the capability of direct georeferencing. ISPRS – Int Arch Photogramm Remote Sen. Spatial Inform Sci. XL-1/W2: 317-323.

Ren, H., Zhao, Y., Xiao, W., Hu, Z. 2019. A review of UAV monitoring in mining areas: current status and future perspectives. *International Journal of Coal Science and Technology*, 6(3), 320-333.

Shervais, K., 2015. Structure from Motion, Introductory Guide. Retrieved 27 July 2016 from <https://www.unavco.org/education/resources/educational-resources/lesson/field-geodesy/module-materials/sfm-intro-guide.pdf> (Ziyaret tarihi: 12.02.2016).

Narendra, B. H., Siregar, C. A., Turjaman, M., Hidayat, A., Rachmat, H. H., Mulyanto, B., Susilowati, A. 2021. Managing and reforesting degraded post-mining landscape in Indonesia: a review. *Land*, 10(6), 658.

Öz, E., 2017. Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye.

Özcan, O. 2017. İnsansız hava aracı (İHA) ile farklı yüksekliklerden üretilen sayısal yüzey modellerinin (SYM) doğruluk analizi. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-7.

Özdamar, K., 2004. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi, 5. Baskı, Eskişehir.

Taddia Y, Stecchi F, Pellegrinelli A., 2020. Coastal mapping using DJI phantom 4 RTK in post-processing kinematic mode, *Drones*, 4(2), 9.

Tercan, E. 2018. Karayolu ölçmelerinde insansız hava araçlarının kullanılması: Okurcalar şehir merkezi örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 649-660.

Tomaščík, J., Mokroš, M., Surový, P., Grznárová, A., Merganic, J., 2019. UAV RTK/PPK method-An optimal solution for mapping inaccessible forested areas? *Remote Sensing*, 11(6), 721.

Tucci, G., Gebbia, A., Conti, A., Fiorini, L., Lubello, C., 2019. Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of uav photogrammetric surveying. *Remote Sensing*, 11, 1471.

Türk, T., Öcalan, T. 2020. PPK GNSS sistemine sahip insansız hava araçları ile elde edilen fotogrametrik ürünlerin doğruluğunun farklı yaklaşımlarla irdelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(1), 22-28.

Türk, Y., Canyurt, H., Eker, R., Aydın, A., 2021. İnsansız Hava Aracı ile Orman Yolu Kazı ve Dolgu Hacimlerinin. IV. Karadeniz Ormancılık Kongresi, 6–9 Aralık 2011, s 93, Trabzon.

Varnes D. J. 1978. Slope Movement Types and Processes in Landslides Analysis and Control. (Editors: Shuster R. L., Krizek R. J.), Transportation and Road Research Board, 8th ed., *National Academy of Sciences*, Washington, 11-33.

Wallace, L., Lucieer, A., Malenovskè, Z., Turner, D., Vopěnka, P. 2016. Assessment of forest structure using two UAV techniques: a comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7, 1-16.

Watts, A.C., Ambrosia, V.G., Hinkley, E.A., 2012. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(12): 1671–1692.

Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., Reynolds, J.M., 2012. structure-from-motion photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179: 300–314.

Yavuz, G. 2019. Açık maden işletmelerinde insansız hava aracı (İHA) uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.

Žabota, B., Kobal, M. 2021. Accuracy assessment of uav-photogrammetric-derived products using PPK and GCPs in challenging terrains: In search of optimized rockfall mapping. *Remote Sensing*, 13(19), 3812.