

**ORMAN İÇİ AÇIK MADEN SAHALARINDA YÜZEY
DEĞİŞİMİNİN İZLENMESİNDE İHA-TABANLI YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI: DÜZCE-TATLIDERE ÖRNEĞİ**

BERKAN BALABAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. YILMAZ TÜRK**

DÜZCE, 2024

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ORMAN İÇİ AÇIK MADEN SAHALARINDA YÜZEY
DEĞİŞİMİNİN İZLENMESİNDE İHA-TABANLI YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRILMASI: DÜZCE-TATLIDERE ÖRNEĞİ

Berkan BALABAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Yılmaz TÜRK
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Yılmaz TÜRK
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Remzi EKER
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 29/03/2024

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

29 Mart 2024

Berkan BALABAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Yılmaz TÜRK'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Desteklerinden dolayı Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN hocama teşekkür ederim. Tez çalışmasında materyal hacminin belirlenmesi için kullanılan algoritmanın yazımında yardımlarını aldığım tez jürisi Dr. Öğr. Üyesi Remzi EKER hocama teşekkür ederim. Ayrıca arazi çalışmalarında yardımlarını aldığım Öğr. Gör. Ece ALKAN'na, Arş. Gör. Tunahan ÇINAR'a ve Yük. Orm. Müh. Burak TÜRKAY'a teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

29 Mart 2024

Berkan BALABAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR.....	viii
SİMGELER	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. AÇIK MADEN SAHALARI VE İŞLETİLMESİ.....	6
1.2. AÇIK MADEN SAHALARININ İZLENMESİNDE VE MATERYAL MİKTARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	7
1.2.1 Arazi Ölçüm Yöntemleri	7
1.2.2 Fotogrametrik Yöntemler	8
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
2.1. MATERYAL	10
2.1.1. Araştırma Alanı.....	10
2.1.1.1. Yeri (Mevkii).....	10
2.1.1.2. Çalışma Alanı Orman Varlığı, İklim ve Bitki Örtüsü.....	10
2.1.1.3. Kullanılan Araç ve Gereçler.....	12
2.2. YÖNTEM	13
2.2.1. İş Akış Şeması.....	13
2.2.2. İHA Sistemi ile Sayısal Görüntülerin Alınması	14
2.2.3. İHA ile Alınan Sayısal Görüntülerin İşlenmesi ve RTK/PPK Yöntemlerinin Karşılaştırılması	15
2.2.4. Taş Ocağı Sınırının İzlenmesi ve Şev Basamağı Geometrisinin Ölçümü	19
2.2.5. Kazı Hacminin Belirlenmesi.....	21
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	23
3.1. RTK VE PPK YÖNTEM BULGULARININ KARŞILAŞTIRILMASI	23
3.2. TAŞ OCAĞI SINIRININ İZLENMESİ VE ŞEV GEOMETRİSİNE İLİŞKİN BULGULAR	29
3.3. TAŞ OCAĞI KAZI HACMİNE İLİŞKİN BULGULAR.....	32
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	35
5. KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ	43

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Şev Parametreleri: β) Şev Açısı, H) Şev Yüksekliği, L) Şev Genişliği, a) Şev Topuğu, b) Şev Tepesi ve ab) Şev Yüzeyi.....	5
Şekil 1.2. Açık ocak madenciliği sahalarının işletilmesi (ÇSB, 2020).....	7
Şekil 1.3. Yersel fotogrametrik yöntemler: a) GPS entegreli kamera b) viDOC RTK tarayıcı c) El tip LIDAR tarayıcı d) Yersel lazer tarayıcı	9
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi	10
Şekil 2.2. Tatlıdere Orman İşletme Şefliği meşcere haritası	12
Şekil 2.3. İHA Sistemi: a) DJI Phantom 4 RTK, çalışmada kullanılan CHCN: b) X91 GNSS alıcısı	13
Şekil 2.4. İş akış şeması	13
Şekil 2.5. SYM verisi elde edilmesi ve uçuş planının hazırlanması.....	14
Şekil 2.6. Agisoft Photoscan Professional version 1.5.2 yazılımında verilerin işlenmesi.....	15
Şekil 2.7. CHC Geomatics Office 2 PPK dengeleme yazılımında fotoğraf konumlarının düzeltilmesi.....	16
Şekil 2.8. 19 Mayıs 2022 uçuşuna ait yeniden yapılandırılmış ortofoto görüntüsü	17
Şekil 2.9. 19 Mayıs 2022 uçuşuna ait yeniden yapılandırılmış sayısal yükseklik modeli.....	17
Şekil 2.10. PPK (solda) ve RTK (sağda) ortofoto görüntülerinde belirlenen noktalardaki uzunlukların ölçümü.....	19
Şekil 2.11. Ortofoto görüntülerinde belirlenen noktalardaki şev basamağı uzunluk ölçümü	20
Şekil 2.12. Ortofoto görüntülerinde belirlenen şev basamaklarının yükseklik ölçümü..	20
Şekil 2.13. Fark SYM verisi üretimi.....	21
Şekil 2.14. ArcGIS ArcMap için tasarlanan araç kutusu (Turk ve ark., 2022).....	21
Şekil 2.15. Fark SYM verisinden kazı ve dolgu hacim ve alanlarının elde edilmesi (Sıfır Çizgisi: İki SYM arasındaki farkın sıfır olduğu yani herhangi bir aşınma veya birikmenin olmadığı anlamına gelmektedir)	22
Şekil 2.16. Araç kutusu çıktısının metin dosyası örnek görüntüsü.....	22
Şekil 3.1. RTK kamera konumu ve hata tahminleri: a) Birinci uçuş, b) İkinci uçuş.....	25
Şekil 3.2. PPK kamera konumu ve hata tahminleri: a) Birinci uçuş, b) İkinci uçuş	26
Şekil 3.3. Taş ocağı sınırlarının izlenmesi ve değişimler	30
Şekil 3.4. Hacimsel kazı ve dolgu haritası.....	33
Şekil 3.5. Alansal kazı ve dolgu sınıfları haritası	34

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Düzce İline ait iklim verileri (MGM, 2024).....	11
Çizelge 3.1. RTK ve PPK yöntemlerine ilişkin veri özellikleri.....	23
Çizelge 3.2. RTK ve PPK yöntemiyle yapılandırılmış ortalama kamera konum hataları	27
Çizelge 3.3. PPK ve RTK ortofoto görüntülerinden el edilen uzunluk ölçümleri.....	29
Çizelge 3.4. Taş ocağı şev basamağı geometrisine ilişkin ölçüm sonuçları.	31



KISALTMALAR

Ark.	Arkadaşları
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CSV	Comma-Separated Variables (Virgölle Ayrılmış Değerler)
ÇSB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
Diğ.	Diğerleri
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri
GPS	Global Positioning System
IMU	Inertial Measurement Unit
İHA	İnsansız Hava Aracı
LIDAR	Light Detection and Ranging (Lazer Görüntüleme Algılama ve Değişme)
PPK	Ölçü Sonrası Veri Değerlendirme
RGB	Görünür Aralıkta
RMS	Root Mean Square (Karekök Ortalama)
RTK	Gerçek zamanlı kinematik
SfM	Structure-from-motion
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
UA	Uzaktan Algılama
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
Vb.	Ve benzeri
YKN	Yer Kontrol Noktaları

SİMGELER

cm	Santimetre
dk	Dakika
GB	Gigabayt
ha	Hektar
km	Kilometre
mm	Milimetre
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
sn	Saniye
%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat Derece
<=	Küçük eşit
®	Tescilli

ÖZET

ORMAN İÇİ AÇIK MADEN SAHALARINDA YÜZEY DEĞİŞİMİNİN İZLENMESİNDE İHA-TABANLI YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI: DÜZCE-TATLIDERE ÖRNEĞİ

Berkan BALABAN

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yılmaz TÜRK

Mart 2024, 42 sayfa

Taş ocaklarında yapılan faaliyetler sonrası meydana gelen yüzey değişimlerinin (şev basamak geometrisi ve kazı hacmi) belirlenmesinde uzaktan algılama teknolojileri, maliyet-etkin, hızlı ve kolay çözümler sunma potansiyeli taşımaktadır. 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 Kinematic -PPK) ölçüm tekniği alternatif çözüm sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı RTK ve PPK çözümünün Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) ve RTK-CORS tarafından sonradan işlenmiş ve düzeltilmiş konumsal ölçümler yoluyla dengelenmiş fotoğraf çiftlerinin ortaya koyduğu hassasiyeti değerlendirerek karşılaştırmaktır. Ayrıca orman idaresi bünyesinde açık maden (taş ocağı) sahasının sınırlarının izlenmesinde, şev geometrilerinin (şev basamak, genişlik ve açısının) ölçülmesinde İHA sistemlerinin kullanılabilirliğini incelemek ve taş ocağı işletmeciliği açısından, çıkarılan malzemenin hacmini İHA kullanarak hesaplamaktır. Çalışma alanı, Düzce ili Tatlıdere Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde kalan işletmesi tüzel kişiliğe ait bir taş ocağı seçilmiştir. RTK ve PPK uygulama modülleri olan DJI Phantom 4 RTK insansız hava aracı (İHA) kullanılarak, taş ocağında 30 Eylül 2021 ve 19 Mayıs 2022 tarihlerinde (yaklaşık 7 aylık süreci kapsayan) eş zamanlı RTK ve PPK modlarında toplam dört uçuş gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması sonuçlarında RTK ve PPK yöntemi ile ortofoto üzerinde belirlenen ortalama konumsal doğruluklar sırasıyla 2,00 cm ve 0,68 cm bulunmuştur. Bu sonuca göre taş ocağı alanı gibi işletilmesi sonucunda oluşan şevlerin geometrik özelliklerinin belirlenmesinde, PPK çözümünün daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca PPK yöntemi ulaşılması güç ve çoğunlukla dağlık alanlara yakın olan arazilerde bulunan taş ocaklarında RTK modda veri alımındaki kayıplara alternatif olacaktır. Tez çalışmasında taş ocağı şev basamak genişliği, yüksekliği ve eğimi rahatlıkla tespit edilmiştir. Bununla beraber taş ocağı sınırlarının takibi rahatlıkla yapılmış, çalışma süresince taş ocağı alanı 1044 m² ve çevresi ise 25 m genişlemiştir. Taş ocağı işletmeciliği için önemli olan materyal hacmi hesaplanmış, kazı miktarı 104170 m³ ve kazı alanı ise 44348 m² bulunmuştur. Ele edilen sonuçlar doğrultusunda, orman idaresi ve taş ocağı işletmecisi İHA sistemlerini veri elde etmede kullanmalıdır.

Anahtar sözcükler: Arazi ölçme, İHA, PPK, RTK, Şev geometrisi.

ABSTRACT

COMPARISON OF UAV-BASED METHODS FOR MONITORING SURFACE CHANGE IN OPEN-PIT MINING SITES IN FORESTS: DÜZCE-TATLIDERE CASE

Berkan BALABAN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Forestry Engineering
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yılmaz TÜRK

March 2024, 42 pages

Remote sensing technologies have the potential to offer cost-effective, fast and easy solutions in determining the surface changes (slope step geometry and excavation volume) that occur after the activities carried out in the quarries. 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 kinematics (RTK) technique, centimetre-accurate studies can be performed in the accuracy of spatial data. However, Post Processing Kinematic (PPK) measurement 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 and compare the accuracy of the RTK and PPK solutions for image pairs stabilised by Global Navigation Satellite Systems (GNSS) and RTK-CORS through post-processed and corrected positional measurements. In addition, to examine the usability of UAV systems in monitoring the boundaries of the open-pit mine (quarry) area within the forest administration, measuring the slope geometries (slope step, width and angle) and calculating the volume of the extracted material using UAV in terms of quarry management. The study area was selected as a quarry operated by a legal entity within the boundaries of Tatlıdere Forestry Operation Directorate in Düzce province. Using a DJI Phantom 4 RTK unmanned aerial vehicle (UAV) with RTK and PPK application modules, a total of four flights were performed in simultaneous RTK and PPK modes on 30 September 2021 and 19 May 2022 (covering a period of approximately 7 months) at the quarry. In the results of the thesis study, the average positional accuracies determined by RTK and PPK methods on orthophotos were 2.00 cm and 0.68 cm, respectively. According to this result, it is understood that the PPK solution is more suitable for determining the geometric properties of the slopes formed as a result of the operation such as quarry area. In addition, the PPK method will be an alternative to the losses in RTK mode data acquisition in quarries located in inaccessible and often mountainous areas. In the thesis study, slope step width, height and slope of the quarry were easily determined. However, the quarry boundaries were easily monitored and the quarry area expanded by 1044 m² and its perimeter by 25 m during the study period. The material volume, which is important for quarry operations, was calculated and the excavation volume was found to be 104170 m³ and the excavation area was found to be 44348 m². Based on the results obtained, the forest administration and the quarry operator should use UAV systems for data acquisition.

Keywords: Field survey, UAVs, RTK, PPK, Slope geometry.

1. GİRİŞ

Dünyada insan nüfusunun artmasına paralel olarak doğal kaynakların tüketiminde artış gözlenmektedir (Özcan, 2009; Özşahin ve ark, 2018). Doğal kaynakların yönetimi ve kullanımında sürdürülebilirlik ilkesi gözetilmekte olup; belirli aralıklarla gözlemlerin ve ölçümlerin yapılmasını gerektirmektedir. Bu gözlem ve ölçümler ekonomik, ekolojik ve sosyal dengeleri içeren birçok farklı disiplinler arası araştırmayı kapsayabilmektedir. 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, sıklıkla bütün doğal kaynak yönetimi bilimi ile alakalı araştırmalarda tercih edilmektedir. Gelişen 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 kullanımının 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 projeler hazırlanmaktadır. Bu projelerin uygulanması sonucunda, ortaya çıkacak yapının veya oluşan yeni alanın kullanımında, yerel koşullara ve çevre koşullarına uyum sağlanarak, tüm canlılar için güvenli bir ortam sağlanmış olur (T.C. Resmi Gazete 23 Ocak 2010, Sayı: 27471).

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 düşme, devrilme, kayma, yayılma, akma veya birleşik duraylılık (stabilite) türleri meydana gelebilmektedir (Varnes, 1978; Öz, 2007).

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 etkileri azaltılmış ve doğal yapısı bozulmuş sahaların doğaya yeniden kazandırma çalışmaları, doğal ya da yapay yolla yapılmaktadır (T.C. Resmi Gazete 23 Ocak 2010, Sayı: 27471, Narendra ve ark., 2021). Böylece çevreye duyarlı bir çalışma faaliyeti dışında duraylılık üzerine etkili faktörler ortadan kaldırılmakta ya da azaltılmaktadır. Bir yapının maruz kaldığı gerilmenin ortadan kaldırılarak önemli bir deformasyonun veya hareketin önlenmesi için ölçme biliminden ve tekniklerinden yararlanılmaktadır (Festin ve ark, 2019; Ren ve ark., 2019).

Orman idaresi de kendi sınırları içerisindeki taş ocaklarını izlemek ve denetlemekle yükümlüdür. İdare izin sınırlarının takibi, şev basamağı uzunluklarının, yüksekliklerinin ve açısının standartlara göre yapılıp yapılmadığını kontrol etmektedir. Ülkemizde izin sahibi, her yıl Eylül ayının sonuna kadar uygulama takvimine göre madencilik faaliyeti yaptığı alandaki rehabilite işleminin aşamaları hakkında bölge müdürlüğüne, ormancılık bürosu ya da bünyelerinde çalışan orman mühendisi tarafından hazırlanan teknik raporu verir. Madencilik faaliyet sahası, faaliyetin tamamlanmasından sonraki bir yıl içinde izin sahibi tarafından rehabilitasyon projesi hazırlanarak saha kullanıma uygun hale getirilir. İzin sahibi tarafından rehabilitenin bitirilmesini takiben üç yıllık takip süresi sonunda veya madenin cinsine göre rehabilitasyon projesinde verilen takip süreleri esas alınmaktadır. Rehabilitasyon projesi kapsamında taahhüt edilen hususların sağlanıp sağlanmadığı heyet tarafından tespit edilir. Söz konusu hususların sağlandığı tespit edilirse izin sahibinin madencilik faaliyeti yaptığı alan ile ilgili sorumluluğu sona ermektedir (T.C. Resmi Gazete 18 Nisan 2014, Sayı: 28976).

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 fotogrametrisi kapsamında değerlendirilen ve çeşitli sınıflara ayrılan İHA sistemleri yer almaktadır (Watts ve ark., 2012). Ormancılık, ziraat, maden, inşaat gibi bilimleri kapsayan ölçme ve değerlendirme çalışmalarında zamansal esneklik ve hassas veri üretme imkanından dolayı bu sistemler tercih edilmektedir (Akgül ve ark., 2016; Tercan 2018; Buğday, 2018; Colomina ve Molina, 2014).

Madencilik faaliyetlerinin izlenmesi, doğal yaşam alanlarının iyileştirilmesi ve düzenlenmesi için hazırlanan veya bu amaçla seçilen projenin uygulanmasında İHA sistemlerinden yararlanılmaktadır (Ren ve ark., 2019). Taş ocağı işletme izin alanları sınırlarının takibinde, mücavir alan sınırları içerisinde veya dışında yerleşim yeri olarak kullanabilecek veya günübirlik kullanıma açılması planlanan alanlarda yamaç ve şev duraylılığının açılardırma ile yapılması durumunda; şev açısı, şev basamak yüksekliği ile genişliği kriterlerin takibinde ve kazı-dolgu hacminin hesaplanmasında (Raeva ve ark., 2016; Ulvi, 2018; Gülcü ve Kılınç, 2018; Tucci ve ark., 2019; Canh ve ark., 2020; Türk ve ark., 2022) İHA sistemleri ölçme tekniği olarak kullanılabilir (Mete ve Özcan, 2019; Yavuz, 2019).

İHA sistemlerinin 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 (Gülcü ve ark., 2021). İHA ve sistemleri, küresel navigasyon uydu sistemi (GNSS) alıcıları, Inertial Measurement Unit (IMU) ve diğer birçok sensörle donatılmıştır. Bu sistem ve sensörlerin bilinmesi SfM tekniği ile gerçekleştirilen 2 boyutlu düzlemden elde edilen blok görüntülerin 3 boyutlu hale

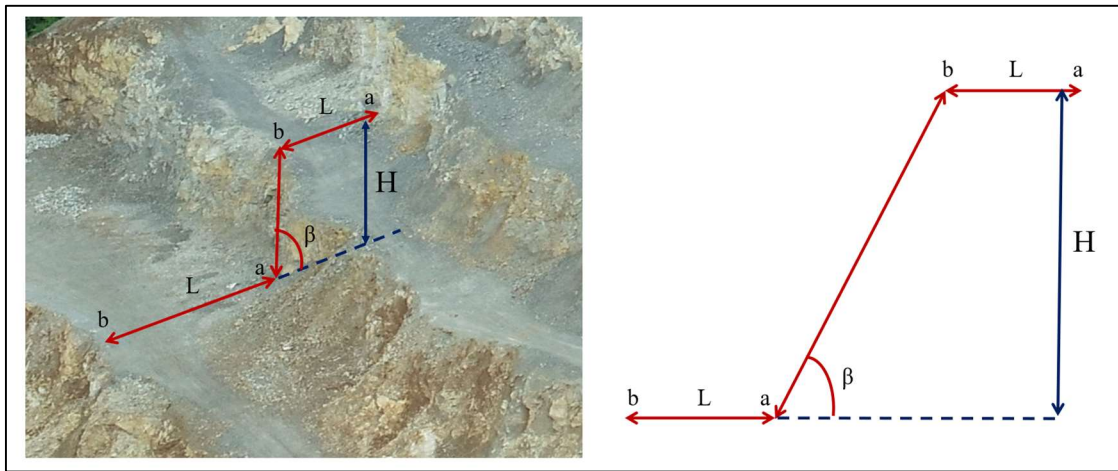
getirilmesinde etkilidir. SfM mantığı ile çalışan birçok ticari veya açık kaynak kodlu yazılım ile yüksek çözünürlükte sayısal yükseklik modelleri (SYM) ve ortofotolar kolaylıkla oluşturmaktadır (Shervais, 2015; Wallace, 2016). SfM mantığı, görüntü alımından önce kameraların konumu veya yer kontrol noktaları 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 (YKN) fotoğrafların dengelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Eisenbeiss, 2009; Özcan, 2017; Gülci ve ark., 2021). Bir diğer ifadeyle, modelin ölçeklendirilmesi ve hassasiyetinin artırılmasında 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 olmasında farklı GNSS teknikleri kullanılmaktadır (Rehak ve ark., 2013). Bu yüksek hassasiyet, doğrudan coğrafi referanslama, gerçek zamanlı kinematik (RTK) ve işlem sonrası kinematik (PPK) teknolojilerini içerir (Taddia ve ark., 2020).

RTK tekniği, uydu tabanlı konum doğruluğunu en yakın baz istasyonlarından sağlayarak elde edilen konum verilerinin hassasiyetini cm olarak vermektedir. Ancak topoğrafik yapısı, veri sağlayan istasyonların kapsama alanı sınırları, uydu bazlı konumlamaya uygun olmayan bölgelerde PPK ölçüm tekniği alternatif çözüm sağlamaktadır (Eker ve ark., 2021). Eker ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada İHA tabanlı RTK ve PPK yöntemlerini beş yaklaşımla karşılaştırmışlardır. Çalışmada farklı yüzey türleri (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 doğruluktaki fotogrametrik ürünler bu yaklaşımla elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Mühendislik bilimi içerisinde yüzey madenciliği sonucunda kazı şevleri oluşmaktadır. Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı “şev” olarak isimlendirilir. Şev, eğimli yüzey anlamında da kullanılmaktadır. Şevin yatayla yaptığı açı “şev açısı”dır. Şev tabanı ile üst yüzeyi arasındaki düşey uzaklığa “şev yüksekliği” adı verilir. Şevin yüzeyi ile şev tabanının kesiştiği nokta “şev topuğu” olarak isimlendirilir. Şev topuğu ile şev tepesi arasında kalan kısım ise “şev genişliği” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1.1) (Öz, 2007).



Şekil 1.1. Şev Parametreleri: β) Şev Açısı, H) Şev Yüksekliği, L) Şev Genişliği, a) Şev Topuğu, b) Şev Tepesi ve ab) Şev Yüzeyi

Bu tez çalışmasının amacı;

1. İHA ile taş ocaklarının izlenmesinde kullanılan PPK ve RTK yöntemlerinin zaman, doğruluk analizlerini yaparak, avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymak, 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 hassasiyeti değerlendirerek karşılaştırmak,
2. Orman Genel Müdürlüğü bünyesinde açık maden (taş ocağı) sahasının sınırlarının izlenmesinde, şev geometrilerinin (şev basamak, genişlik ve açılarının) ölçülmesinde İHA sistemlerinin kullanılabilirliği incelemek,
3. Taş ocağı işletmecisi açısından çıkarılan malzemenin hacmini İHA kullanarak hesaplamaktır.

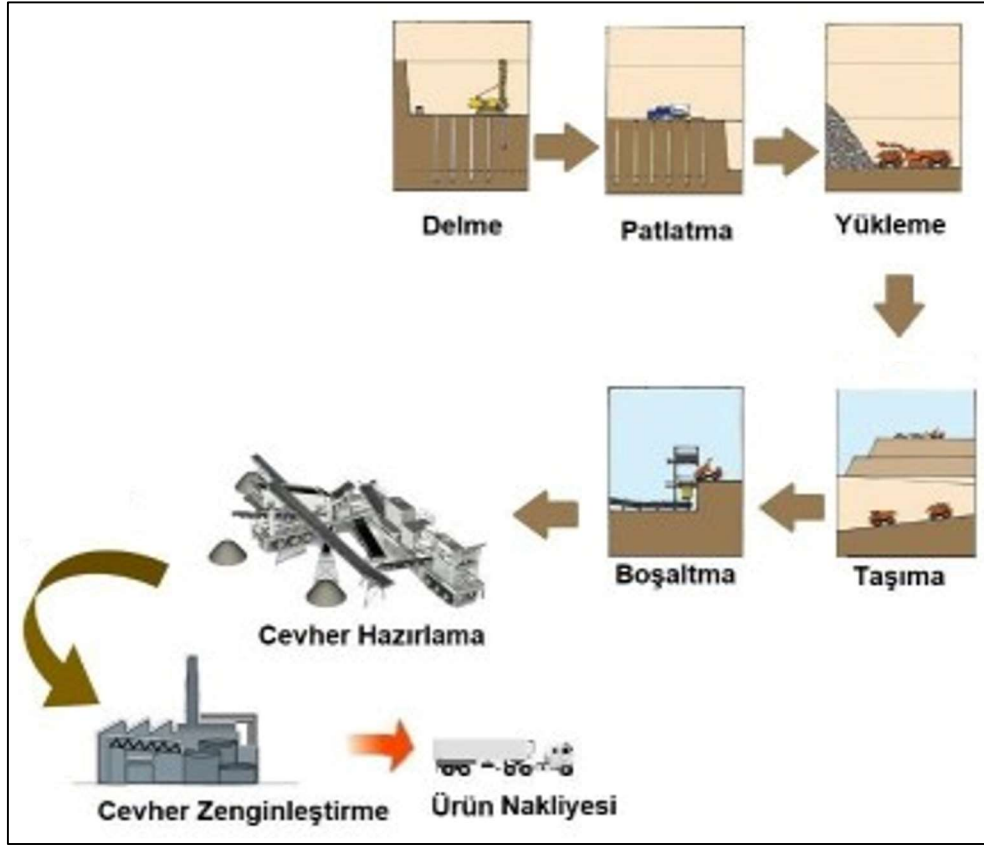
1.1. AÇIK MADEN SAHALARI VE İŞLETİLMESİ

Çalışma alanının bağlı olduğu Bolu Orman Bölge Müdürlüğü İzin İrtifak Şube Müdürlüğü'nde 2024 yılı itibariyle faaliyetini sürdüren toplam 133 adet açık maden ocağı izni bulunmaktadır. Bu ocakların 88 adedi Bolu ilinde ve 45 adedi Düzce ilinde yer almaktadır (BOBM, 2024).

Açık ocak madenciliği ya da diğer bir deyişle yerüstü madenciliği, cevherin yer yüzeyine yakın bulunduğu alanlarda, gerektiğinde maden üzerindeki örtü tabakasının (pasa) alınarak ekonomik şekilde çıkarılması için uygulanan üretim şeklidir (Şekil 1.2). Yüzeye yakın olan cevherin yayılımı ve boyutu açık ocak madenciliğinin de kendi içinde çeşitlenmesini sağlamıştır. Günümüzde işletmeye açılan yer üstü maden ocakları incelendiğinde genel olarak üç farklı yöntemin uygulandığı söylenebilir. Bunlar; yatay cevher yatağına sahip linyit, kömür ocakları, eğimli veya dik dalımlı cevher yatağına sahip metalik maden ocakları, yüzeye yakın yamaçta oluşmuş cevher yatağına sahip endüstriyel hammadde ve doğal taş maden ocakları olarak örneklendirilebilir (ÇSB, 2020).

Açık ocak madencilik yönteminde faaliyetler;

- Bitki örtüsü ve üst toprağı kaldırarak yüzeyi hazırlamak,
- Kaya tabakalarını kırmak veya patlayıcılar yardımıyla parçalamak,
- Örtü tabakasını yükleyerek araziden uzaklaştırmak,
- Madeni çıkartarak araziden uzaklaştırmak olarak sıralanabilir (Çelem ve Akpınar, 1996; Aktaş 2008).



Şekil 1.2. Açık ocak madenciliği sahalarının işletilmesi (ÇSB, 2020)

6831 Sayılı Orman Kanununun 16. Maddesine göre, izni alınan sahalar orman işletme müdürlüklerince görevlendirilen kontrol komisyonu tarafından her yıl kontrol edilmektedir. Yapılan bu kontrollerde teslim edilen saha ile kullanılan saha arasında uyumsuzluk olup olmadığı, izin verilen faaliyet dışında başka bir faaliyetin olup olmadığı, izin verilen tesisler dışında başka yapılan tesisin olup olmadığı, orman yollarını kullanıp zarar verilip verilmediği, rehabilitasyon projesine uyulup uyulmadığı, koordinatlı sabit köşe noktalarının olup olmadığı ve varsa tespit edilen diğer eksiklikler kontrol edilmektedir.

1.2. AÇIK MADEN SAHALARININ İZLENMESİNDE VE MATERYAL MİKTARININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

1.2.1 Arazi Ölçüm Yöntemleri

Orman arazilerinde madencilik faaliyetine müsaade edilmesi için, maden işletme sahaları, verimli toprak depolama alanları, maden stok alanları, pasa döküm alanları, kantar tesis ve atık baraj izinlerinde, izin sahibi tarafından kafes tel çit ile etrafı çevrilmekte ve

madencilik faaliyeti bitene kadar muhafaza edilmesi gerekmektedir (Sezer ve Gençay 2017). Fakat günümüzde kafes tel çit yerine, izin saha sınırlarına belirli aralıklarla Jalon çakılmaktadır. Bu jalonların bulunduğu koordinatlar Cors-GPS yardımıyla alınarak maden ocağı sınırları kontrol edilmektedir.

6831 sayılı Orman Kanunu'nun 16. Maddesinin dördüncü fıkrasına göre, “*madencilik faaliyetlerinin sona ermesi neticesinde idareye teslim edilen veya terk edilen doğal yapısı bozulmuş orman alanları rehabilite edilir*” ifadesi yer almaktadır. Rehabilite edilecek şev basamaklarının genişlik, yükseklik ve açı değerleri Orman Bölge Müdürlüğüne verilen taahhütteki değerler ile uyumlu olmalıdır. Bu değerlerin kontrollerini sağlamak için önceki yıllarda takeometre, nivo, mira, çelik metre kullanılırken günümüzde ise Cors-GPS yardımı ile her şev basamağının en iç ve en dış kısımlarından belirli aralıklar ile koordinatlar alınmaktadır. Alınan veriler bilgisayar ortamına atıldıktan sonra ölçümler yapılarak şev basamaklarının genişlik, yükseklik ve açılarının maden ocağının rehabilite edilmeye uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir.

Taş ocağı işletmecisi açısından önemli olan çıkarılan malzemenin hacim hesabında ise önceleri yüklü taşıma araçlarının sayımı ve kantara girmesi ile hacim hesabı yapılmaktaydı. Bunun yanında takeometre, nivo vb. cihazlarla da materyal hacmi belirlenmekteydi. Günümüz ise gelişen teknoloji ile fotogrametrik ölçümlerle materyal hacmi buluna bilinmektedir.

1.2.2 Fotogrametrik Yöntemler

Açık maden sahalarının izlenmesinde ve materyal hacminin belirlenmesinde Cors-GPS kullanılmaktadır. İzin sahası sınırları ve oluşturulan SYM ile şev basamaklarının genişlik, yükseklik ve açı değerleri tespit edilmekte ve materyal hacmi hesaplanmaktadır. Ancak açık maden sahaları genellikle dağlık alanlarda bulunması nedeniyle izlenmesinde topografyanın engebeli ve ulaşılması zor olduğundan arazi ölçüm yöntemleri iş güvenliği açısından daha zor ve zaman alıcıdır.

Bu tez çalışmasında İHA sistemlerinin açık maden sahalarında kullanılabilirliği incelenmiştir. İHA teknolojisi dışında otomatik veri toplama teknolojileri; arazi yüzeyini fotoğraf çekerek, video çekerek veya sayısallaştırma aracılığıyla görüntüleme ve farklı uzaktan algılama sensörleri (non-contact) (lazer, akustik ve kızılötesi) kullanarak materyal hacmi hesaplanmaktadır (McGhee, 2004).

Günümüzde yersel lazer tarayıcılar, elde taşınabilen ve akıllı cihazla uyumlu 3D cihazlar (viDoc RTK, El tipi Lidar), GPS entegreli kameralar açık maden sahalarında kullanılabilir özelliklerine sahiptirler (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Yersel fotogrametrik yöntemler: a) GPS entegreli kamera b) viDOC RTK tarayıcı c) El tip LIDAR tarayıcı d) Yersel lazer tarayıcı

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL

2.1.1. Araştırma Alanı

2.1.1.1. Yeri (Mevkii)

Çalışma alanı olarak Batı Karadeniz Bölgesi'nin Güneybatısında yer alan Düzce Orman İşletme Müdürlüğü bünyesinde, Tatlıdere Orman İşletme Şefliği (OIŞ) sınırları içerisinde kalan işletmesi tüzel kişiliğe ait bir taş ocağı seçilmiştir (Şekil 2.1). Düzce Merkez'e 16 km uzaklıkta olan taş ocağının denizden olan yükseltisi ortalama 430 m ve II-A Kalker sahasıdır. Taş ocağı izin sahası yaklaşık 112237 m² olup, 2012 yılında çalışmalara başlanılmış ve halen üretime devam etmektedir. Çalışma alanında İHA ile iki farklı zaman diliminde ve iki farklı yöntemle uçuşlar gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 7 aylık süreyle taş ocağı izlenmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi

2.1.1.2. Çalışma Alanı Orman Varlığı, İklim ve Bitki Örtüsü

Tatlıdere OİŞ'nin toplam yüzölçümü 4428 ha olup, toplam alanın 4090 ha'ı ormanlık alan ve 338 ha'ı ise ormansız alandan oluşmaktadır. Çalışma alanı mevki itibariyle hem Karadeniz İklim Kuşağı'nın etkisinde hem de Orta Anadolu İklim Kuşağı'nın etkisinde kalmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Düzce İli için 1959-2022 yılları arasında yapmış olduğu ölçüm ve sonuçlar Çizelge 2.1'de özetlenerek gösterilmiştir. Çalışma alanının yıllık ortalama sıcaklığı 13,2 °C, yıllık yağış miktarı ortalaması 833,5 mm'dir. Çalışma alanının yıllık ortalama en yüksek sıcaklık 19,4 °C ve ortalama en düşük sıcaklık 8,6 °C'dir. En yüksek sıcaklık 42,4 °C ile Temmuz ayında, en düşük sıcaklık ise -20,5 °C ile Ocak ayında ölçülmüştür. Yörenin iklim özelliklerindeki farklılıklar bitki çeşitliliğinde zengin bir yelpazenin oluşmasına neden olmuştur. Plan ünitesi ormanları, genel olarak yapraklı ormanlardır. Tatlıdere Orman İşletme Şefliği'nin asli ağaç türlerini Kayın (*Fagus orientalis*), Gürgen (*Carpinus betulus*), Sapsız Meşe (*Quercus petraea*), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Karaçam (*Pinus nigra*) oluşturmaktadır. Tez çalışma alanında Kayın (*Fagus orientalis*) meşçeresi bulunmaktadır(Şekil 2.2).

Çizelge 2.1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Düzce İline ait iklim verileri (MGM, 2024)

Meteorolojik Elemanlar (*)	A Y L A R												
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ort. Sıc. (°C)	3,7	5,2	7,6	12,2	16,5	20,3	22,4	22,3	18,6	14,1	9,4	5,7	13,2
Ort. En Yük. Sıc.(°C)	8,2	10,5	13,6	19,0	23,4	27,1	29,1	29,2	26,0	20,8	15,7	10,3	19,4
Ort. En Düş. Sıc.(°C)	0,5	1,4	3,4	7,2	11,2	14,8	16,9	17,0	13,4	9,8	5,3	2,5	8,6
Aylık Top. Yağ. Mik. Ort..(mm)	91,3	70,4	73,9	59,3	62,8	70,5	45,1	51,4	52,3	79,1	76,5	100,9	833,5

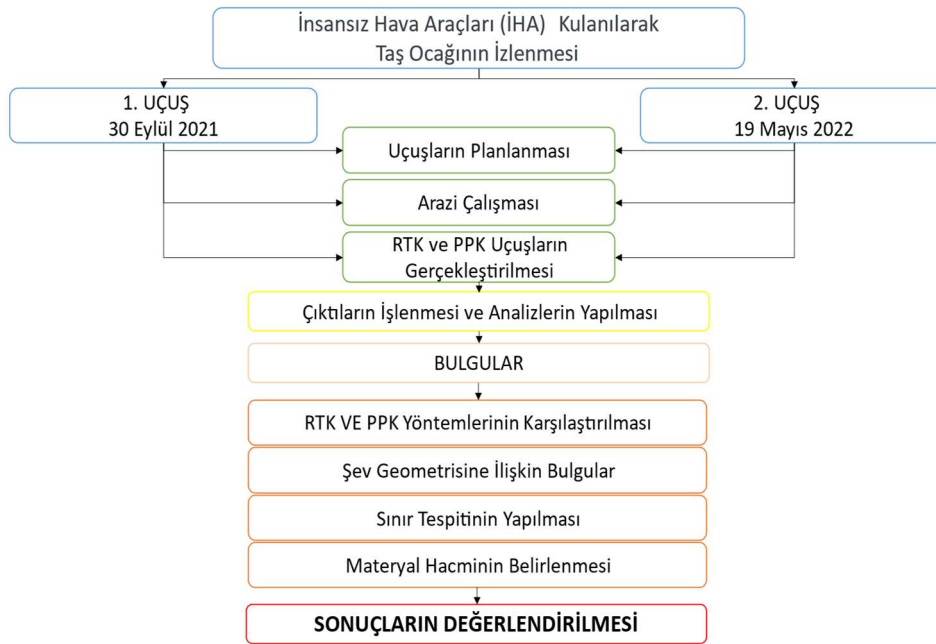


Şekil 2.3. İHA Sistemi: a) DJI Phantom 4 RTK, çalışmada kullanılan CHCN; b) X91 GNSS alıcısı

2.2. YÖNTEM

2.2.1. İş Akış Şeması

Çalışma alanında İHA tabanlı açık taş ocağının izlenmesi ile ilgili iş akış şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. İş akış şeması

2.2.2. İHA Sistemi ile Sayısal Görüntülerin Alınması

İHA ile görüntü alımına ait işlemlerin temel adımları; arazi öncesi hazırlık (uçuş planlarının hazırlanması ve arazi çalışması), 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 gerekli ön bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir. İHA ile uçuşun gerçekleştirilmesinde optimum hava koşulları rüzgar ve yağışın olmadığı bulutlu bir gökyüzü olarak ifade edilmektedir (Lindner ve ark., 2016; Eker ve ark., 2018).

Uçuş planlama işlemi DJI Phantom 4 RTK sisteminin kumandasından DJI GS RTK uygulaması ile oluşturulmuştur. Bu kapsamda öncelikle çalışma alanı için Global Mapper yazılımında SYM verisi elde edilmiştir. Sahanın SYM verisi ve uçuş yapılan alanın sınırlarını kapsayan bir vektör veri (KML formatında) SD kart ile kumandaya aktararak uçuş planı hazırlanmıştır (Şekil 2.5). Daha sonra bu veriler kullanılarak alanın büyüklüğü ve İHA'nın batarya kapasitesine bağlı olarak süre dikkate alınmış ve son olarak adaptif uçuş yapılacak şekilde planlama gerçekleştirilmiştir.



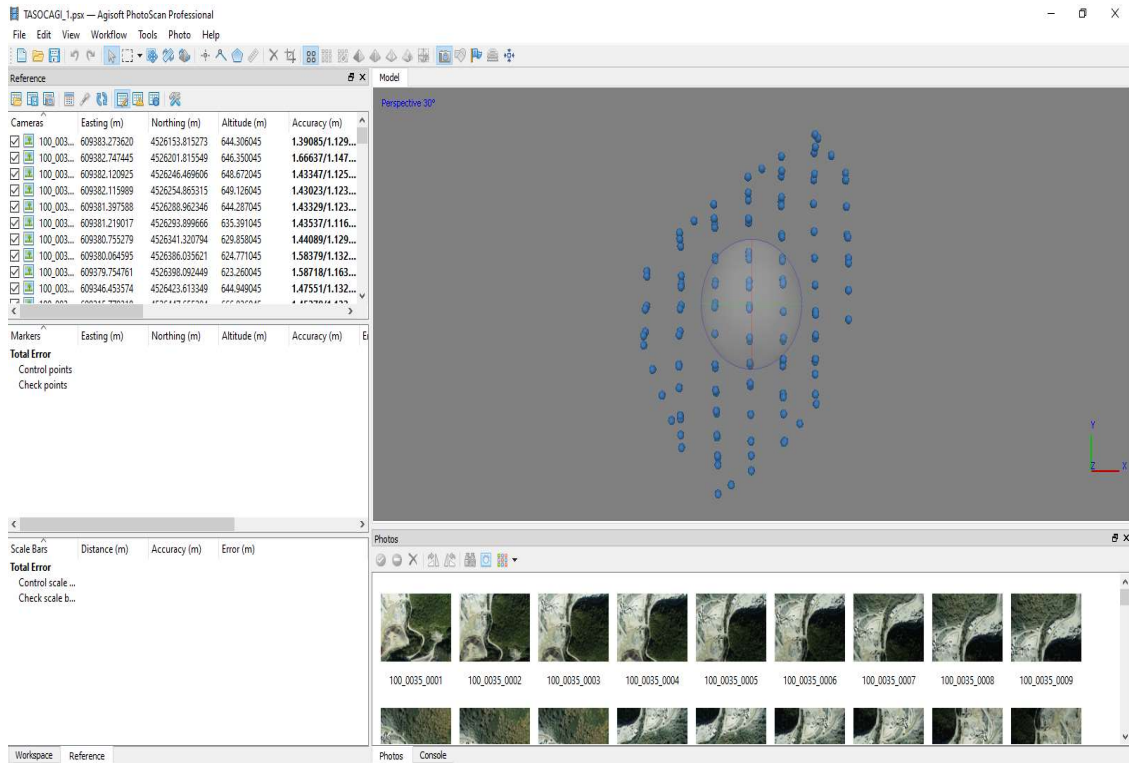
Şekil 2.5. SYM verisi elde edilmesi ve uçuş planının hazırlanması

RTK ve PPK uygulama modülleri olan DJI Phantom 4 RTK İHA sistemi kullanılarak, açık maden sahası olan taş ocağında birinci uçuş 30 Eylül 2021 ve ikinci uçuş 19 Mayıs 2022 tarihlerinde aynı gün ardı ardına RTK ve PPK modlarında iki uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda çekilen fotoğraflar %60 ön ve %70 yan bindirme oranlarına sahip ve uçuş yüksekliği 150 m 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 kapsamaması gerektiğinden, statik veri alımı, İHA uçuşundan önce ve sonra 15'er dakika olmak üzere uçuş süresinden hariç toplam 30 dakika alımlar gerçekleştirilmiştir. Statik veri, GNSS alıcısının özel bir dosya formatı olan “.HCN” uzantılı dosyası olarak alıcının dahili belleğine kaydedilmiştir.

2.2.3. İHA ile Alınan Sayısal Görüntülerin İşlenmesi ve RTK/PPK Yöntemlerinin Karşılaştırılması

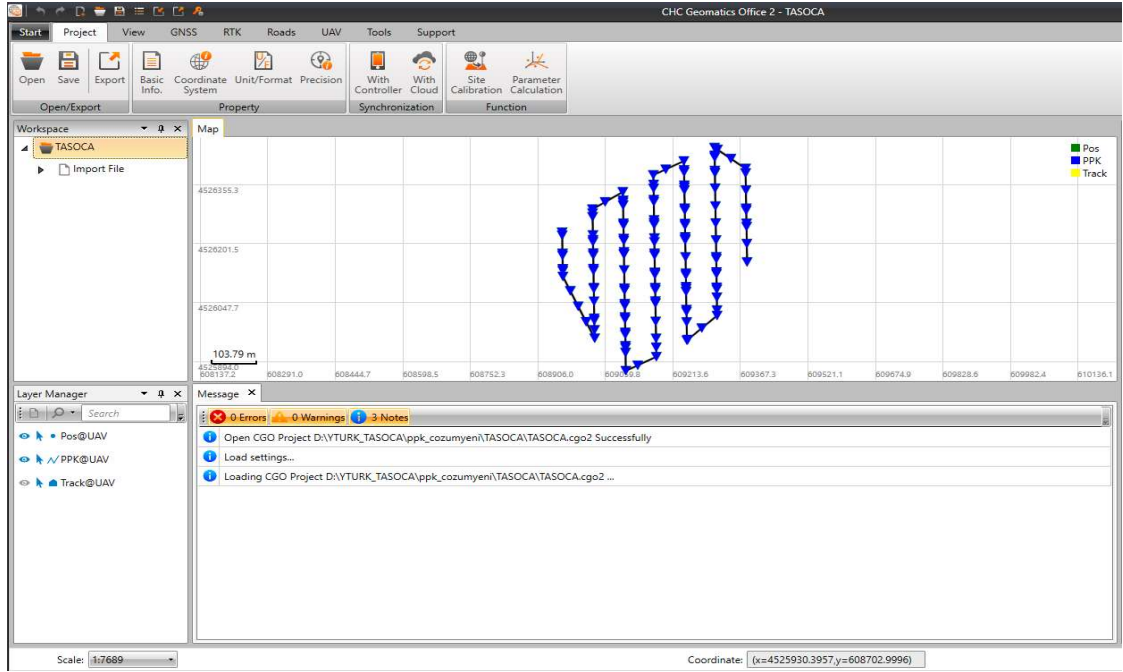
Uçuşlar tamamlandıktan sonra ofis çalışmaları kapsamında ise İHA ile alınan görüntülerin işlenerek yüksek çözünürlükte ve doğrulukta nokta bulutu, SYM ve ortofoto görüntüsü üretilmesinde Agisoft Metashape Professional Version 1.5.2 yazılımı kullanılmıştır (Agisoft, 2022) (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Agisoft Photoscan Professional version 1.5.2 yazılımında verilerin işlenmesi

Yazılım Windows 10 64-bit İşletim Sistemi üzerinde çalıştırılmıştır. Görüntü yöneltme işlemi doğruluk seviyesi orta (medium) olarak ayarlanmış, diğer derinlik haritaları üretimi (depth maps), yoğun nokta bulutu (dense cloud) üretimi aşamalarında ise kalite ayarları yüksek (high) olarak seçilmiştir. Görüntülerin fotogrametrik analizi sonucu üretilen çıktılar “.tiff” formatında SYM ve ortomozaiklerdir.

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 (Şekil 2.7). Gezici ve baz gözlem dosyaları için “PPKRAW”, GNSS baz istasyonu için “HCN” dosyaları yazılıma aktarılmış ve işlemten sonra düzeltilen kamera konumları bir CSV dosyası olarak kaydedilmiştir.

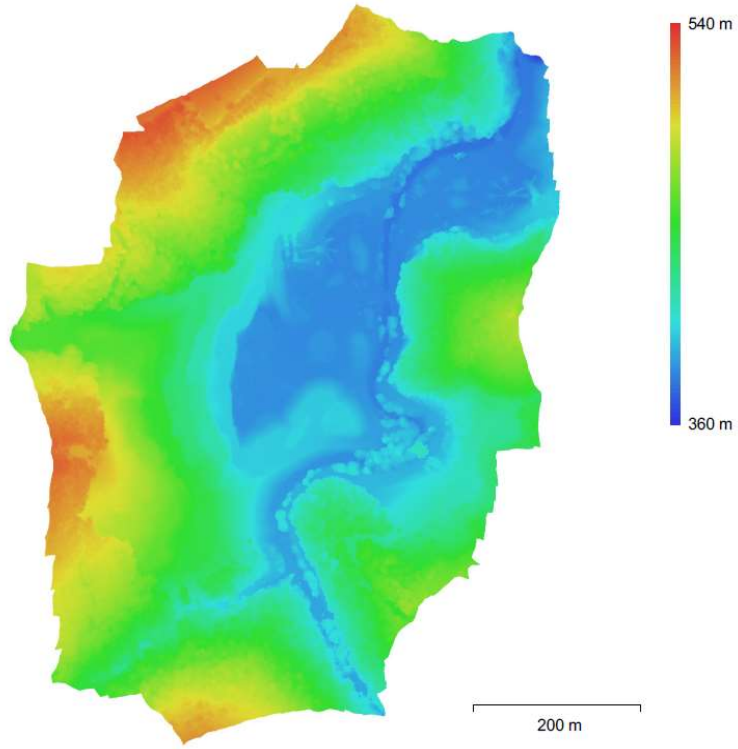


Şekil 2.7. CHC Geomatics Office 2 PPK dengeleme yazılımında fotoğraf konumlarının düzeltilmesi

CSV olarak kaydedilen düzeltilmiş kamera konumları Agisoft Metashape yazılımında düzeltilmemiş kamera konumları ile değiştirilerek PPK verileri çözümlenmiş ve dengelenmiş olarak ortomozaik (Şekil 2.8) ve SYM üretilmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.8. 19 Mayıs 2022 uçuşuna ait yeniden yapılandırılmış ortofoto görüntüsü



Şekil 2.9. 19 Mayıs 2022 uçuşuna ait yeniden yapılandırılmış sayısal yükseklik modeli

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 Metashape Kullanım Kılavuzu, 2022)

Ortalama hata aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

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

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

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

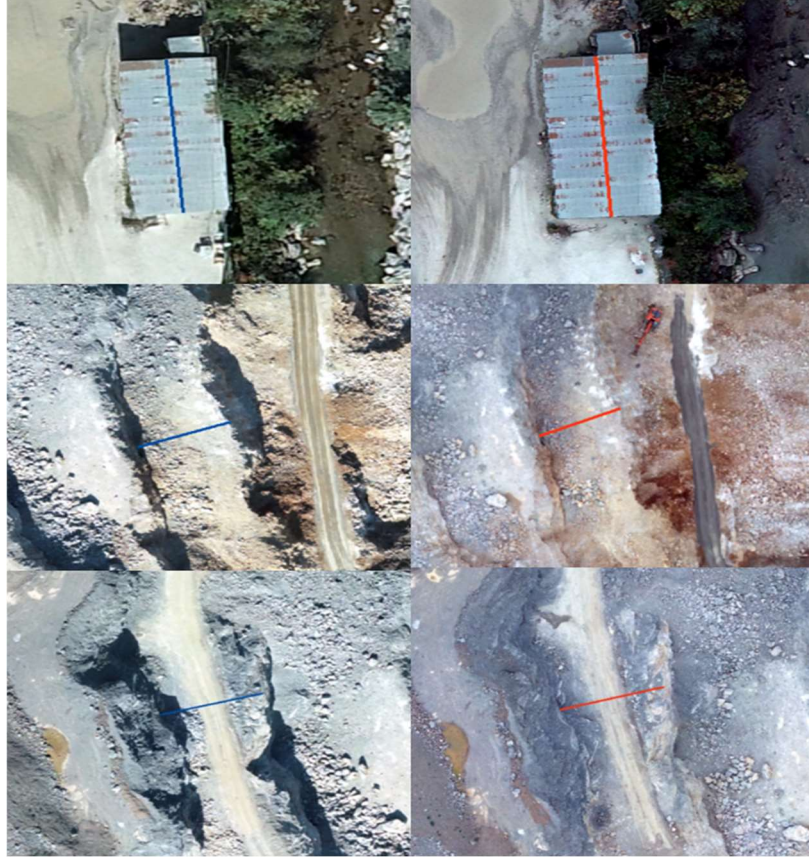
$Y_{i,g}$ i kamera konumu için Y koordinatının giriş değeridir,

$Y_{i,t}$ 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.

Ayrıca PPK ve RTK ortofoto görüntülerini karşılaştırmak için çalışma alanı içerisinde her iki görüntüde de yer alan noktadaki (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 2.10).

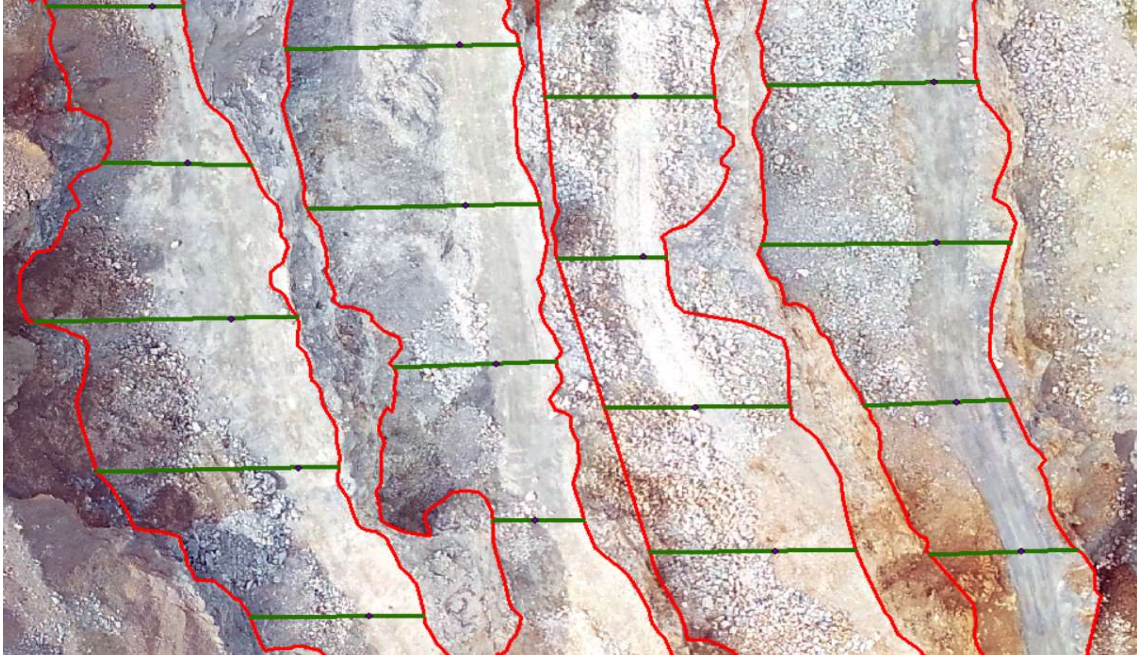


Şekil 2.10. PPK (solda) ve RTK (sağda) ortofoto görüntülerinde belirlenen noktadaki uzunlukların ölçümü

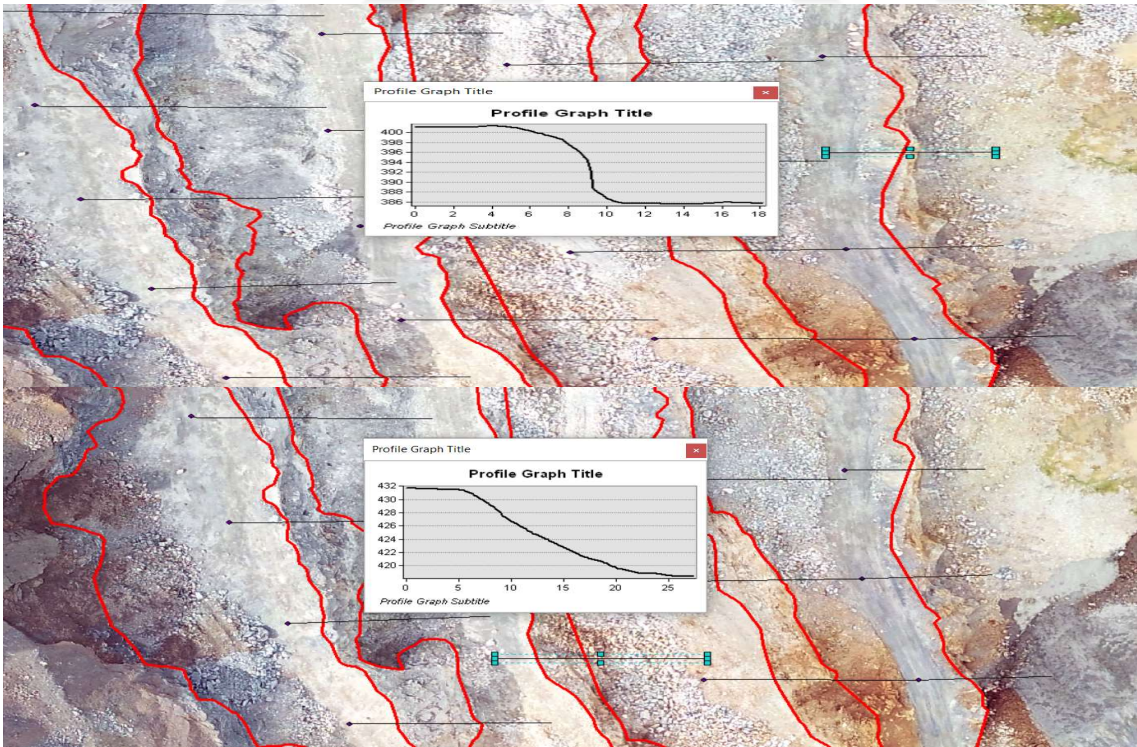
2.2.4. Taş Ocağı Sınırının İzlenmesi ve Şev Basamağı Geometrisinin Ölçümü

Orman İdaresinin kontrolündeki taş ocakları için önemli olan izin sahası sınırlarında ihlal olup olmadığı, şev basamaklarının genişliği, yükseklik ve açılarının standartlara göre yapılıp yapılmadığı kontrol edilmektedir. Bu nedenle elde edilen ortofoto ve SYM verilerinden taş ocağı sınırları, şev genişliği, yüksekliği ve açısı tespit edilmiştir. Taş ocağı sınırlarının izlenmesinde birinci uçuş ve ikinci uçuş ortofoto görüntülerinden yararlanılmış olup ArcGIS 10.3 yazılımında oluşturulan poligon (polygon) vektör verisi ile taş ocağı sınırları sayısallaştırılmıştır. Taş ocağı şev basamağı genişliğinin ölçümünde aynı şekilde oluşturulan nokta (point) vektör verisi kullanılarak her şev basamağına 20 metrede bir nokta atılmış bu noktalar üzerinden çizgi (line) vektör verisi kullanılarak sayısallaştırılmıştır (Şekil 2.11). Şev basamaklarının yükseklik ölçümlerinin yapılması için ise her nokta üzerinden Interpolate Line ara yüzü kullanılarak ortofoto ve SYM verisi üzerinde bulunan her basamağın yükseklik değerleri hesaplanmıştır. En yüksek ve en düşük değerler arasındaki fark şev yüksekliği olarak belirlenmiştir (Şekil 2.12).

Ayrıca Şev aılarınnı lulmesinde Microsoft Excel programı kullanılarak yükseklik ve genişlik değerleri girilerek hesaplamalar yapılmıştır. Her bir ölçüm bilgisi ilgili öznetelik verisinden elde edilmiştir.



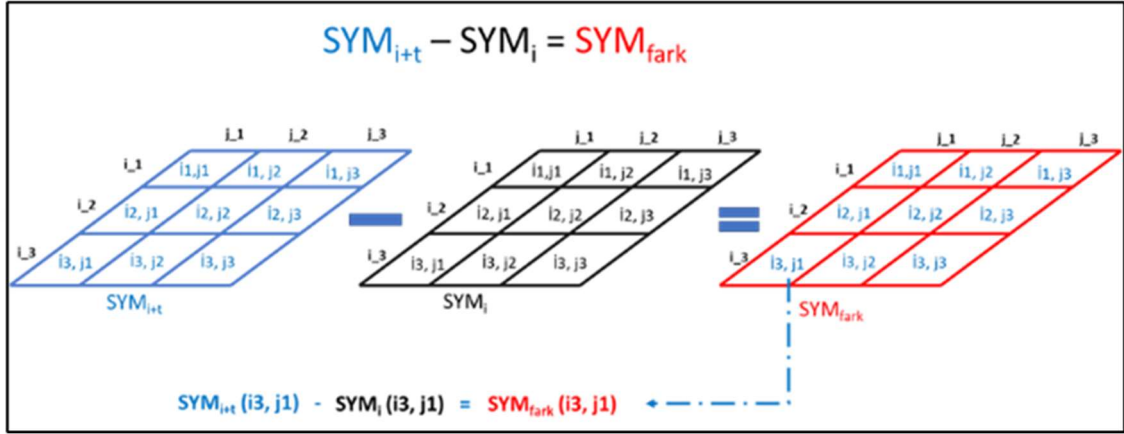
Şekil 2.11. Ortofoto görüntülerinde belirlenen noktalardaki Şev basamağı uzunluk lm



Şekil 2.12. Ortofoto görüntülerinde belirlenen Şev basamaklarının yükseklik ölçümü

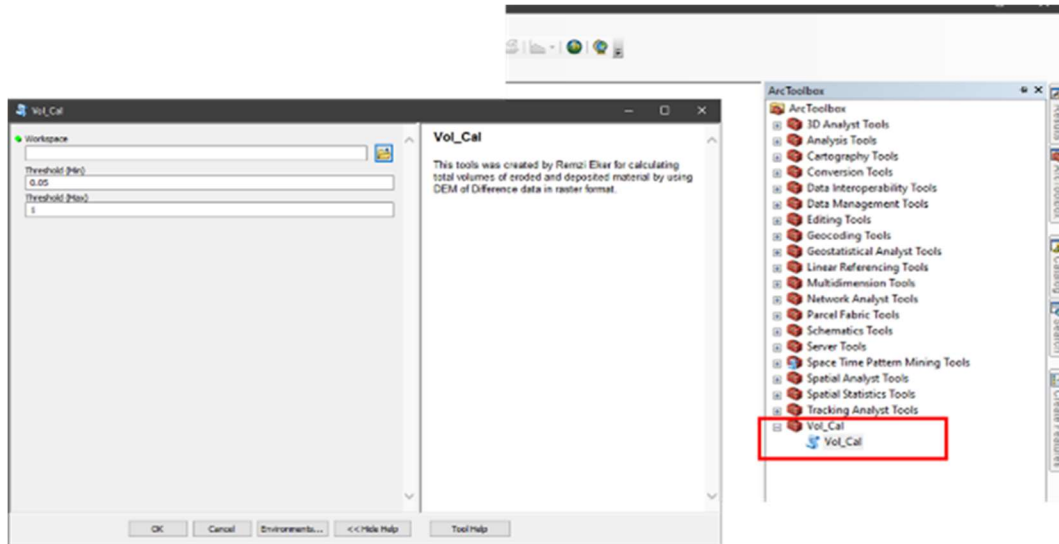
2.2.5. Kazı Hacminin Belirlenmesi

Çalışmada taş ocağı kazı hacminin belirlenmesi amacıyla SYM farkları yöntemi kullanılmıştır. SYM bu işlemde raster formatta üretilen SYM verilerini oluşturan her bir pikselin değeri (SYM de bu değer deniz seviyesinden olan yüksekliktir) zaman serisindeki diğer SYM’de örtüşen (üst üste binen) pikselin değerinden çıkarılması şeklinde uygulanmaktadır. SYM farkları ilk uçuş verisi baz alınarak ikinci uçuştan çıkarılmıştır (Şekil 2.13).



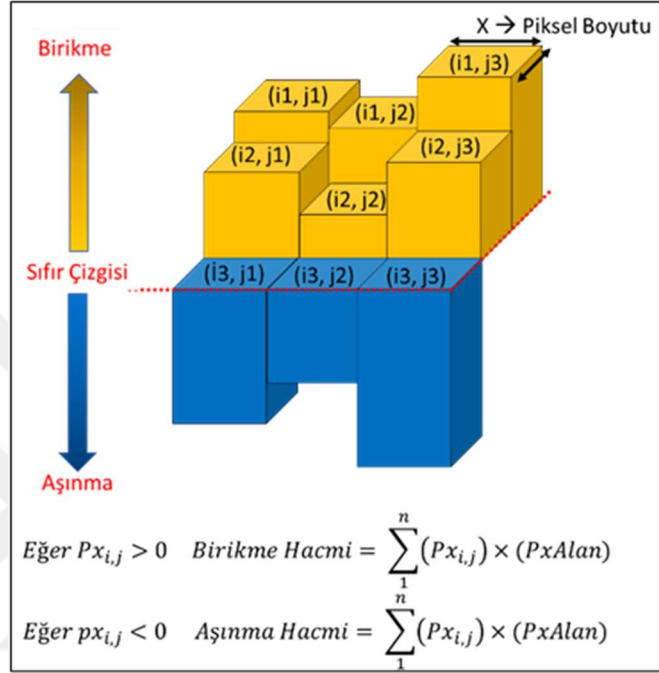
Şekil 2.13. Fark SYM verisi üretimi

Üretilen fark SYM verisinden çalışma alanı sınırları kesilip çıkarılmıştır. Daha sonra materyal kazı hacim ve alanının belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Hacim ve alanın belirlenmesi için Python programlama dili ile ArcGIS yazılımı ArcMap modülü içerisinde bir araç kutusu şeklinde bir eklenti tasarlanmaktadır (Türk ve ark., 2022) (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. ArcGIS ArcMap için tasarlanan araç kutusu (Türk ve ark., 2022)

Üretilen Algoritma fark verilerinden Şekil 2.15'te gösterildiği gibi pozitif fark değerlerine sahip bütün pikseller biriken (dolgu) hacim ve alanını, negatif fark değerler ise aşınan (kazı) hacim ve alanını vermektedir. Algoritma hacim ve alan bilgisini çalışma alanı (workspace) olarak tanımlanan konumda metin dosyası (.txt uzantılı) olarak kayıt etmektedir. Metin dosyasında alt (0 m) ve üst limit (30 m) değerleri arazi ölçüm sonuçlarına göre belirlenmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.15. Fark SYM verisinden kazı ve dolgu hacim ve alanlarının elde edilmesi (Sıfır Çizgisi: İki SYM arasındaki farkın sıfır olduğu yani herhangi bir aşınma veya birikmenin olmadığı anlamına gelmektedir)

```

results_D_290523_H_2216 - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
lower limits between: (-0) & (+0)
upper limits between: (-30) & (+30)
#####
c20220519_p11
cell size = 0.150918196265 m
cell area = 0.0227763019639 m2
Calculated Volumes :
Total of Positive Volumes :49475.5540395 m3
Total area of Positive Volumes :61993.8141583 m2
Total of Negative Volumes :-104169.817253 m3
Total area of Negative Volumes :44347.8514354 m2
#####

```

Şekil 2.16. Araç kutusu çıktısının metin dosyası örnek görüntüsü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. RTK ve PPK YÖNTEM BULGULARININ KARŞILAŞTIRILMASI

RTK ve PPK yöntemlerine ilişkin veri özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelge 3.1 incelendiğinde, RTK yöntemi için RTK modda İHA birinci uçuşta ve ikinci uçuşta 131 fotoğraf, PPK yöntemi için İHA GNSS modda da aynı şekilde birinci ve ikinci uçuşta 131 fotoğraf çekimi gerçekleştirmiştir. SYM Çözünürlük (cm/pix), en düşük RTK birinci uçuşta, en yüksek PPK ikinci uçuşta görülmüştür. Her iki uçuş yönteminde de piksel boyutu (μm) aynıdır.

Çizelge 3.1. RTK ve PPK yöntemlerine ilişkin veri özellikleri.

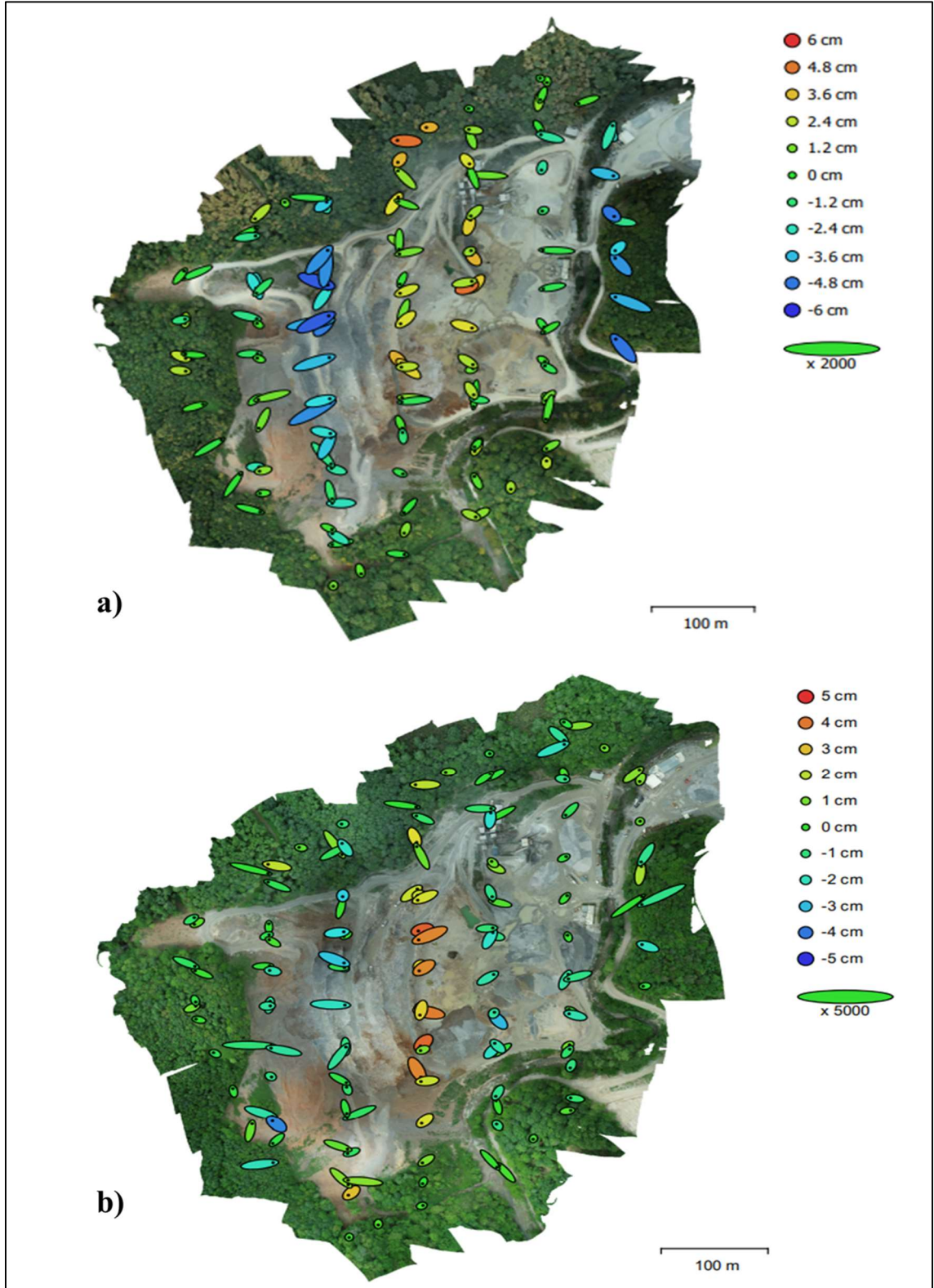
Özellikler	RTK Uçuş		PPK Uçuş	
	1.Uçuş	2.Uçuş	1.Uçuş	2.Uçuş
SYM Çözünürlük (cm/pix)	6,97	7,01	13,00	14,80
SYM Nokta Yoğunluğu (points/m ²)	206	204	59,20	58,90
Piksel Boyutu (μm)	2,61 x 2,61	2,61 x 2,61	2,61 x 2,61	2,61 x 2,61
Fotoğraf (adet)	131	131	131	131

Arazi sonrası büro işlemlerinde RTK ve PPK uçuşlardan elde edilen görüntüler ile hem yatay (X ve Y) hem dikey (Z) konum doğruluklarını değerlendiren fotogrametrik ürünler (ortofoto ve SYM) oluşturulmuştur. RTK ve PPK yöntemi sonucunda oluşturulan ortofoto görüntülerindeki tüm kameraların lokasyon hata tahminleri RTK için Şekil 3.1’de ve PPK için Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

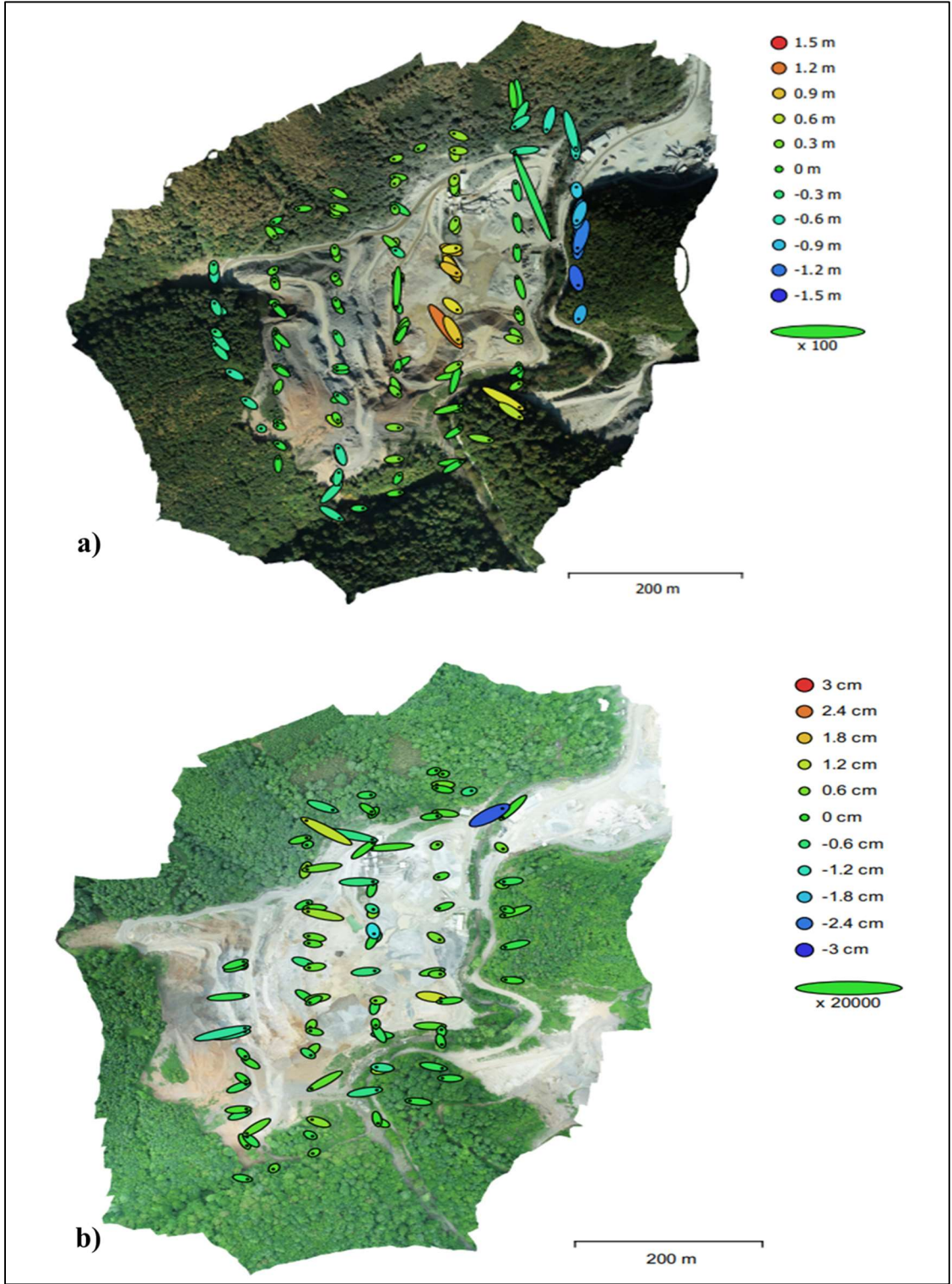
Elde edilen hata tahminleri sonucunda RTK ve PPK yöntemlerinde karşılaştırmalı olarak X,Y ve Z yönünde hesaplanan toplam ortalama kamera konum hata sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir. RTK yöntemi ile elde edilen modelin konumsal karesel ortalama

toplam hatası 2.00 cm olarak hesaplanmıştır. PPK yönteminde dengeleme çözümü yapılmadan önce (GNSS) toplam ortalama kamere konumu hatası 47.41 cm bulunmuş iken dengeleme çözümü sonrası 0.68 cm olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında benzer konumlarda bulunan açık maden sahalarında zamansal gözlemlerde toplam ortalama kamere konumu hatası bakımından 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 farklıklar (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).



Şekil 3.1. RTK kamera konumu ve hata tahminleri: a) Birinci uçuş, b) İkinci uçuş



Şekil 3.2. PPK kamera konumu ve hata tahminleri: a) Birinci uçuş, b) İkinci uçuş

Çizelge 3.2. RTK ve PPK yöntemiyle yapılandırılmış ortalama kamera konum hataları

Konum Hataları	RTK Uçuş (cm)		PPK Uçuş (cm)	
	1.Uçuş	2.Uçuş	1.Uçuş	2.Uçuş
X hatası (cm)	0.65	0.24	0.38	0.08
Y hatası (cm)	0.52	0.17	0.25	0.04
Z hatası (cm)	2.26	1.58	0.68	0.54
XY hatası (cm)	0.83	0.29	0.45	0.09
Toplam hata (cm)	2.40	1.61	0.81	0.55
Ortalama toplam hata (cm)	2.00		0.68	

X: Boylam, Y: Enlem, Z: Rakım

Bu sonuçlara göre, Orman Genel Müdürlüğü tarafından verilen taş ocakları izin sınırlarının takibinde, şev basamak genişliği ve yüksekliği tespitinde PPK yönteminin RTK yöntemine göre konum doğruluğu açısından birbirine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ancak bu çalışma özelinde RTK modda uydu hatalarından kaynaklı kopmalar olmamıştır. Taş ocağı gibi ulaşılması güç ve çoğunlukla ormanlık sahalara yakın olan arazilerde, konumsal bilginin RTK-CORS ile elde etmek kapalılık sebebi ile çoğunlukla mümkün olmamaktadır.

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 (yüzey değişimi: hafriyat) ise kinematik konum belirlemeden (İHA) söz edilir. Arazi ölçümlerinden daha hassas sonuçlar elde etmek için büro ortamında değerlendirilmesi de (post-processing) mümkündür.

PPK yöntemi ile 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 doğruluktaki fotogrametrik ürünlerin bu yaklaşımla elde edilebileceği görülmüştür. Tomaščík ve ark., (2019) ile Türk ve Öcalan (2020) PPK yöntemi ile yapmış oldukları çalışmalarda da yüksek doğrulukta benzer sonuçlar bulmuşlardır.

İHA uygulamalarında; 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 zordur. RTK ölçümde doğruluk değerlerinin büyük olması, belirsizlik çözümünde (fixed solution) uydulara kilitlemede 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) yapmış oldukları çalışmada İHA tabanlı RTK ve PPK yöntemlerini beş yaklaşımla karşılaştırdıklarında, tez çalışması sonuçları ile benzer sonuçlar bulmuşlardır. Bununla beraber PPK ile fotogrametrik dengeleme süreci RTK yöntemine göre model oluşturma aşamalarında harcanan zamanın uzun olduğu belirlenmiştir.

PPK yönteminde statik modda ölçüm için sadece bir noktaya (YKN) ihtiyaç duyulmakta olup konum belirlemede, uygulamanın niteliği ve elde edilecek fotogrametrik ürünlerin doğruluğu açısından kullanıcılara kabul edilebilir hassasiyete sahip modelleri sunmaktadır. Ancak Žabota ve Kobal (2021) sarp ve dağlık alanlarda İHA tabanlı fotogrametrik modellerin üretiminde YKN'lerin öneminin arttığı belirtmişlerdir. Ayrıca sivil amaçlı kullanıma sunulan birçok uygun maliyetli İHA (Drone)'lar uygun maliyetli GNSS modülleri taşımakta ve bu nedenle, İHA-fotogrametrisi uygulamalarında YKN kullanımı en uygun çözümler için kritik öneme sahip ve gerekli olduğunu vurgulamışlardır.

Ayrıca PPK ve RTK ortofoto görüntülerinden el edilen uzunluk ölçümleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. PPK yöntemi ile elde edilen ortofotoda ölçülen uzunluk ile RTK yöntemi ile elde edilen ortofotoda ölçülen ortalama uzunluk değerleri sırasıyla 8,638 m ve 8,607 m olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre iki yöntemin ortalama uzunluk ölçüm değerleri arasında yaklaşık 3 cm fark çıkmıştır. Bu fark toplam ortalama kamera konum hatalarından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.3. PPK ve RTK ortofoto görüntülerinden el edilen uzunluk ölçümleri

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

3.2. TAŞ OCAĞI SINIRININ İZLENMESİ ve ŞEV GEOMETRİSİNE İLİŞKİN BULGULAR

PPK ve RTK uçuş modlarının karşılaştırılması sonucu toplam ortalama kamera konum hataları bakımından en iyi sonucu PPK yöntemi verdiği için bu yöntemden elde edilen ortofoto ve SYM verileri ölçümlerde değerlendirilmiştir. Taş ocağının sınırlarının izlenmesine ilişkin birinci uçuşta taş ocağı alanı 106390 m², çevresi 1869 m ve ikinci uçuşta 107434 m², çevresi 1894 m bulunmuştur. Yaklaşık 7 aylık sürede taş ocağı alanı 1044 m², çevresi 25 m genişlemiştir (Şekil 3.3). Genişleyen kısımda kazı çalışmasına henüz başlanmamış, bu kısımdaki ağaçlar kesilmiştir. Orman idaresinden çalışma alanı ile ilgili sınır koordinatları talep edilmiş ancak üçüncü şahıslara verilerin verilmeyeceği bildirilmiştir. Bu nedenle taş ocağı işletmecisinin sınır kontrolü yapılamamıştır. Ancak bu yöntemle izin sınır koordinatları rahatlıkla kontrolleri yapılabileceği anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.4. Taş ocağı şev basamağı geometrisine ilişkin ölçüm sonuçları.

Kademe No	Örnek No	Şev Genişliği (m)	Şev Yüksekliği (m)	Şev Açısı (°)
1	1	16.50	9.92	62.03
	2	16.42	15.03	54.19
	3	28.04	15.08	69.66
	4	23.67	14.06	58.71
	5	23.10	15.02	52.98
	6	23.76	14.15	70.00
	7	22.71	16.05	52.09
	8	25.98	16.02	41.11
	9	17.30	18.04	62.53
	10	11.48	9.03	42.60
	11	8.42	3.04	44.69
	12	7.85	6.02	32.13
	13	4.67	6.01	56.57
2	14	4.74	6.14	58.33
	15	22.22	19.09	60.24
	16	23.07	17.05	48.08
	17	20.79	19.06	43.36
	18	12.25	21.09	38.70
	19	19.12	21.11	39.68
	20	17.80	16.06	33.11
	21	13.36	15.03	40.15
	22	16.98	15.12	46.89
	23	11.21	14.08	52.27
	24	13.61	15.07	53.42
	25	15.41	15.02	49.82
	26	12.93	13.02	35.87
	27	12.78	9.13	38.53
	28	9.25	5.07	38.12
	29	6.24	2.18	51.28
3	30	21.12	12.04	24.97
	31	10.23	12.06	37.27
	32	18.29	8.04	35.41
	33	26.17	7.10	42.41
	34	26.22	9.08	39.47
	35	12.90	13.07	49.37
	36	7.95	13.11	68.52
	37	8.73	13.08	55.52
	38	12.80	12.06	51.18
	39	18.75	11.10	36.16

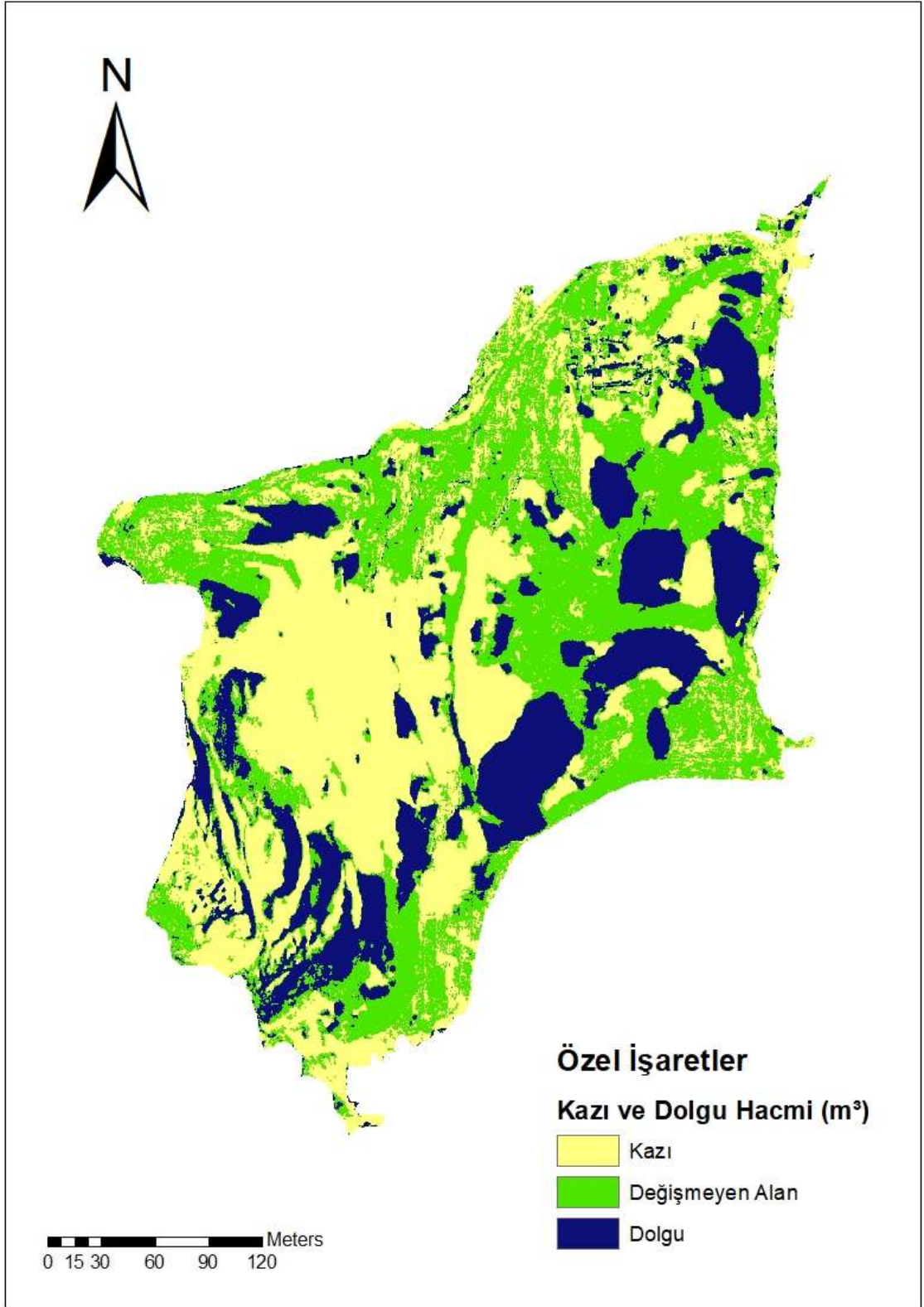
	40	6.07	2.09	20.11
	41	11.02	10.13	32.77
	42	16.06	12.10	32.92
	43	8.46	11.10	57.55
	44	19.42	16.05	41.86
4	45	27.30	18.05	42.20
	46	29.45	19.09	42.46
	47	16.73	20.05	42.67
	48	15.31	21.03	38.46
	49	13.75	22.11	36.92
	50	16.35	23.05	35.69
	Ortalama	16.09	13.33	45.82

3.3. TAŞ OCAĞI KAZI HACMİNE İLİŞKİN BULGULAR

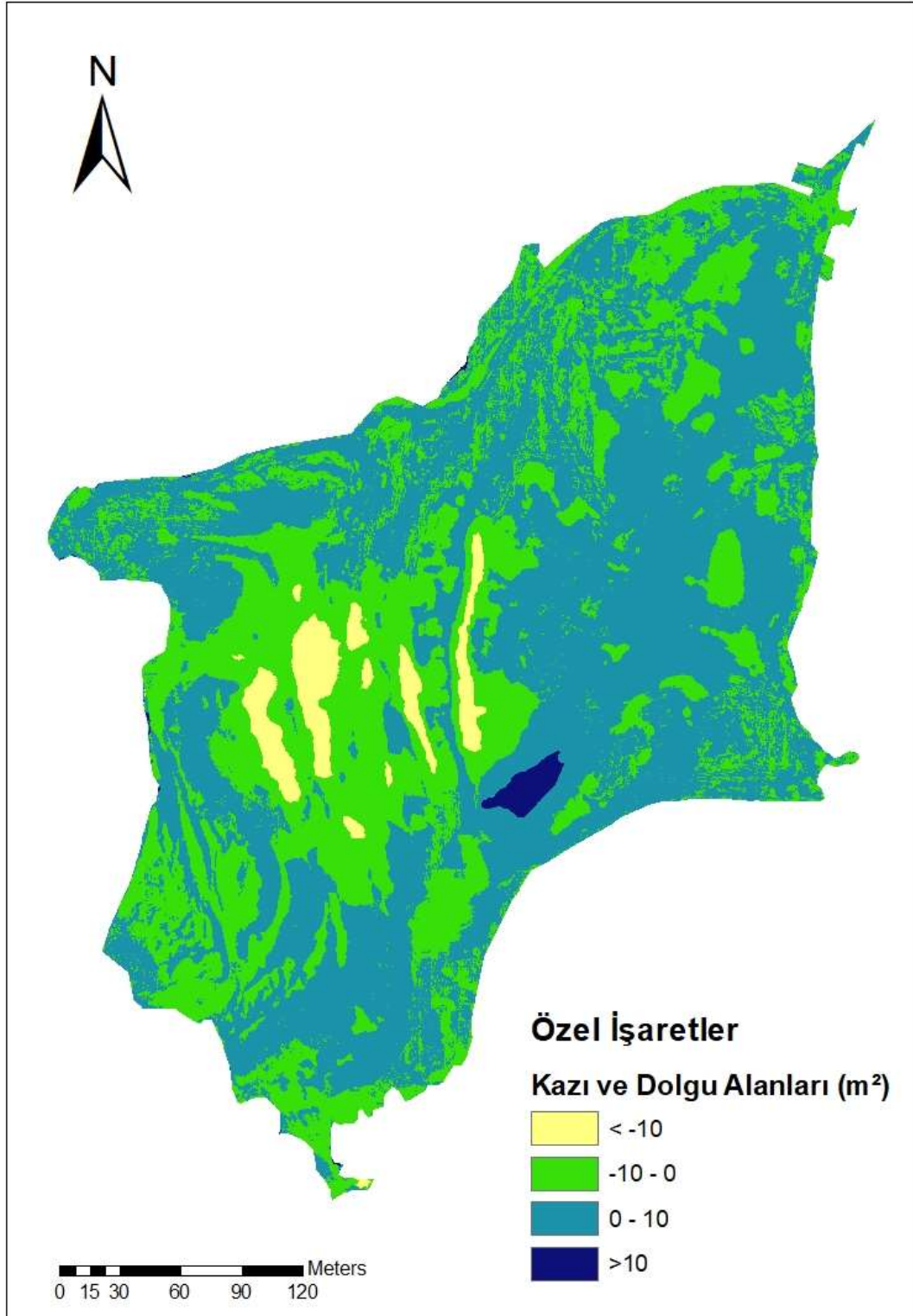
Bu tez çalışmasında taş ocağı işletmecisi açısından önemli olan kazı materyal hacmi miktarı da İHA kullanarak hesaplanmıştır. İHA ile ilk uçuş ve ikinci uçuş verileri arasındaki farktan hesaplanan sonuçlara göre; taş ocağında kazı miktarı 104170 m³ ve kazı alanı ise 44348 m² hesaplanmıştır. Şekil 3.4'te hacimsel kazı haritası ile Şekil 3.5'te alansal kazı sınıfları haritası verilmiştir.

İHA ile materyal miktarının belirlenmesine ilişkin sınırlı sayıda çalışmalar bulunmaktadır (Akgül ve diğ., 2017; Anurogo ve diğ., 2017; Buğday, 2018). Gülci ve Kılınç (2018), İHA ile toprak yığını hacim ölçümlerini değerlendirmiş, çalışma sonucunda 38,56 m³ hacim miktarı bularak, Total Station ile farkının 1,94 m³ (%98,95 uyumlu) olduğunu belirtmiştir. Ulvi (2018) ise yapmış olduğu çalışmada İHA ile Total Station hacim verilerini karşılaştırmış, her iki yöntem sonucunda bulunan değerlerin hassasiyet açısından %99,33 oranında birbiriyle uyumlu olduğunu tespit etmiştir.

Ayrıca Buğday (2018), Ciritcioğlu ve Buğday (2022), Kınalı ve Çalışkan (2022), Türk ve ark. (2022) ile Hasegawa ve ark. (2023) yaptıkları çalışmalarda orman yollarının yapımında kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesinde İHA'nın kullanılabilirliğini incelemiştirlerdir. Bu çalışmalarda İHA teknolojisinin orman yolu hacim hesaplamalarında etkili olduğunu ve kazı ve dolgu hacmini doğru bir şekilde hesaplamak için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 3.4. Hacimsel kazı ve dolgu haritası



Şekil 3.5. Alansal kazı ve dolgu sınıfları haritası

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında açık maden sahalarında (taş ocağı) kazı sonrası zemin değişiminin izlenmesinde, İHA-tabanlı RTK/PPK yönteminin kullanımı incelenmiştir. Çalışma alanında RTK ve PPK yöntemi ile ortofoto üzerinde belirlenen ortalama kamera konum doğrulukları sırasıyla 2,4 cm ve 0,8 cm bulunmuştur. Orman Genel Müdürlüğü tarafından verilen taş ocakları izin sınırlarının takibinde, şev geometrisi tespitinde PPK yönteminin RTK yöntemine göre konum doğruluğu açısından birbirine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Açık maden sahaların izlenmesi ve kontrollerinde İHA fotogrametrisi uygun maliyetli bir ölçme tekniği sunmaktadır.

İHA uygulamalarında mutlak anlamda doğrudan konumlandırma yönteminin; taş ocağı gibi ulaşılması güç ve çoğunlukla ormanlık sahalara yakın olan arazilerde, konumsal bilginin RTK-CORS ile elde etmek kapalılık ve arazi yapısı sebebi ile çoğunlukla mümkün olmamaktadır. RTK ölçümde doğruluk değeri büyük çıkabilmekte, bu da belirsizlik çözümünde (fixed solution) uydulara kilitlenmede ve sürekli izlemede bir sorun olduğunun göstergesi olabilmektedir. Bu çalışmada taş ocağı sahalarında, GNSS alıcılarında yaşanan uydu hatalarını minimize edebilecek bir sistem olan statik kurulum ile sonradan değerlendirme yöntemi olan PPK yönteminin konumsal doğruluk ölçütlerinde daha faydalı olduğu ortaya çıkmıştır.

Tez çalışmasında, taş ocağı sahasında yer kontrol noktalarına gereksinim duyulmadan doğrudan konumlandırma ile yüksek doğrulukta fotogrametrik ürünlerin elde edilmesi de test edilerek araştırılmıştır. İHA-tabanlı PPK yöntemi ile YKN kullanmaksızın ormancılık vb. çalışmalarda gereksinim duyulan en uygun doğrulukta fotogrametrik ürünlerin bu yaklaşımla elde edilebileceği görülmüştür. İHA-fotogrametrisi uygulamalarında YKN kullanımı en uygun çözümler için kritik öneme sahiptir ve gereklidir. Ancak gelişen ve değişen teknoloji, GNSS konum belirlemede, uygulamanın niteliği ve elde edilecek ürünlerin doğruluğu açısından kullanıcılara alternatifler oluşturmaktadır.

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, çevresel koşullar ve uçuş ekibinin deneyimi ön plana çıkmaktadır.

Orman Genel Müdürlüğü'nün izin sahalarının kontrolünde, İHA kullanması iş gücü, iş güvenliği, zaman ve kontrol açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. İHA ile yapılan kontrollerde PPK yöntemin kullanılması daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamakta ve RTK modda veri alımındaki kayıplar bertaraf edilecektir. İHA ile yapılacak kontroller geleneksel yöntemlere göre daha kolay ve hızlı olduğundan izin sahaları daha kısa periyotlarda daha sık kontrol edilebilir. Bu kontroller sınır takibinin yapılmasında ve şev geometrisinin izlenmesinde ve üretilen materyal miktarının tespitinde kolaylık sağlayacaktır.

Taş ocağı işletmeciliği için önemli olan materyal hacmi hesaplanmış, kazı miktarı 104170 m³ ve kazı alanı ise 44348 m² bulunmuştur. Taş ocağı işletmecisinin İHA kullanması aynı zamanda iş gücü, iş güvenliği, zaman ve kontroller açısından avantaj sağlayacaktır. Ayrıca daha kısa periyotlarda yapılan uçuşlar sayesinde her uçuş arasında ne kadar malzeme üretildiği ve toplam üretimin ne kadar olduğu hesaplanacak ve sınır takibi kolayca yapabilecektir.

5. KAYNAKLAR

- Agisoft (2021). *Agisoft metashape user manual: professional edition, version 1.7* [Online]. https://www.agisoft.com/pdf/metashape_1_7_en.pdf (Erişim tarihi: 27.05.2023).
- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A. E., Gülci, S., & Öztürk, T. (2016). İnsansız hava araçları ile yüksek hassasiyette sayısal yükseklik modeli üretimi ve ormancılıkta kullanım olanakları. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(1), 104-118.
- Akgül, M., Yurtseven, H., Akburak, S., Demir, M., Cigizooğlu, H. K., Öztürk, T., Ekşi, M., & Akay, A. O. (2017). Short term monitoring of forest road pavement degradation using terrestrial laser scanning. *Measurement*, 103, 283–293.
- Aktaş, E. (2008). 'Bozulmuş Alanların Ekolojik Rehabilitasyonu ve İzmir-Belkahve Yöresi Taş Ocaklarının Ekolojik Rehabilitasyonu Üzerine Bir Araştırma'. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri, Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Anurogo, W., Lubis, M. Z., Khoirunnisa, H., Hanafi, D. S. P .A., Rizki, F., Surya, G. & Dewanti, N.A. (2017). A simple aerial photogrammetric mapping system overview and image acquisition using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Geospatial Information*, 1(1), 11-18.
- BOBM (2024). *İzin İrtifak Şube Müdürlüğü Arşivi*. Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Bolu.
- 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
- Ciritcioğlu, M. G., & Buğday, E. (2022). Assessment of unmanned aerial vehicle use opportunities in forest road project (Düzce Sample). *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 24(2), 247-257.

- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.
- Çelem, H., & Akpınar, N. (1996). Madencilik sonrası peyzaj onarımının önemi, gereği ve ülkemizdeki durum. İçinde *Çevre Planlama ve Tasarımına Bütüncül Yaklaşım Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (ss.110-121). Ankara.
- Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı [ÇCSB]. (2020). Sanayiden kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesi ve azaltılmasına yönelik uygulamanın kolaylaştırılmasının sağlanması projesi, madencilik faaliyetleri. *Sektörel Uygulama Kılavuzu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- DeJong, J., Tibbett, M., & Fourie, A. (2015). Geotechnical systems that evolve with ecological processes. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 1067-1082.
- Eisenbeiss, H. (2009). 'UAV Photogrammetry'. Doctoral Thesis, University of Technology Dresden, Zurich, Switzerland.
- Eker, R., Aydın, A., & Hübl, J. (2018). Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental Monitoring And Assessment*, 190, 1-14.
- 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.
- Festin, E. S., Tigabu, M., Chileshe, M. N., Syampungani, S., & Ode'n, P. C. (2019). Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. *J. For. Res.*, 30, 381–396. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>
- 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.
- Gül, Y. (2019). Açık maden işletmelerinde insansız hava aracı (İHA) uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.

- Gülci, S., & Kılınç, G. (2018). Uçangöz yardımıyla kazı sonrası oluşan toprak yığını hacim ölçümünün değerlendirilmesi. *International Academic Research Congress* (ss. 1808-1812). Antalya, Türkiye.
- Gülci, 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.
- Hasegawa, H., Sujaswara, A. A., Kanemoto, T., Tsubota, K. (2023). Possibilities of using UAV for estimating earthwork volumes during process of repairing a small-scale forest road, case study from Kyoto Prefecture, Japan. *Forests*, 14(4), 677.
- Kabadayı, A., & Uysal, M. (2019). İnsansız hava aracı ile elde edilen verilerden binaların tespiti. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 08-14.
- Kınalı, M., & Çalışkan, E. (2022). Use of unmanned aerial vehicles in forest road projects. *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, 24(3), 530-541.
- 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.
- Madencilik faaliyetleri ile bozulan arazilerin doğaya yeniden kazandırılması yönetmeliği. (23 Ocak 2010). *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 27471.
- MGM (2024). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Düzce İline ait iklim verileri* [Online]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DUZCE>
- McGhee, K. H. (2004). *Automated pavement distress collection techniques* (Vol. 334). Washington: Transportation Research Board.
- Mete, K. U. N., & Özcan, B. (2019). Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 554-564.

- 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.
- Orman kanununun 16. maddesinin uygulama yönetmeliği. (18 Nisan 2014). *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 28976.
- Öz, E. (2007). ‘Şev Stabilitesi ve Mühendislik Uygulamaları’. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.
- Özcan, A.U. (2009). ‘Ankara-Hasanoğlan Taş Ocaklarının Onarımı ve Kentsel Kullanım Açısından Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma’. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 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.
- Özşahin, E., Sarı, H., & Eroğlu, İ. (2018). Naip Ovası ve yakın çevresindeki taş ocaklarında zamansal ve mekânsal değişimlerin çevresel etkileri (Tekirdağ). *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, 28(3), 331-344.
- Raeva, P.L.; Filipova, S.L., & Filipov, D.G. (2016). Volume computation of a stockpile— A study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XLI-B1, 999–1004.
- Rehak, M., Mabillard, R., & Skaloud, J. (2013). A microUAV 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.
- Sezer, A. O., & Gençay, G. (2017). Devlet ormanlarında verilen maden izin sürecinin incelenmesi (Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü örneği). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 204-217.
- Shervais, K. (2015). *Structure from motion: introductory guide*. [Online]. Erişim: <https://www.unavco.org/education/resources/educational-resources/lesson/field-geodesy/module-materials/sfm-intro-guide.pdf> (Erişim tarihi: 27 Temmuz 2023).

- 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., Remzi, E., & Aydın, A. (2022). İnsansız hava aracı ile orman yolu kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesi: Bolu-Taşlıyayla örneği. *Ormanlık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 97-104.
- Ulvi, A. (2018). Analysis of the utility of the unmanned aerial vehicle (UAV) in volume calculation by using photogrammetric techniques. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 43-49.
- Varnes D.J. (1978). Slope movement types and processes. R.L. Schuster and R.E. Krizek (Editörler), *Landslide Analysis and Control. Sp. Rep. 176*. Washington DC: Transportation Research Board, National Academy of Sciences, ss. 11–33.
- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, 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(3), 62.
- 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(6), 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.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Berkan BALABAN

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2024
Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2017
Lise	Bilişim Teknolojileri Alanı	Bolu Anadolu Ticaret Meslek Lisesi	2011

YAYINLAR

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. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 76-85. doi: 10.17568/ogmoad.10936