



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YARI KURAK DAĞLIK ALANLARDA ORMAN YOLU KAZI  
ŞEVLERİNDE MEYDANA GELEN TOPRAK KAYIPLARININ İHA  
VE YERSEL FOTOGRA METRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

**VURALHAN ÖZÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. YILMAZ TÜRK**

**DÜZCE, 2022**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YARI KURAK DAĞLIK ALANLARDA ORMAN YOLU KAZI  
ŞEVLERİNDE MEYDANA GELEN TOPRAK KAYIPLARININ İHA  
VE YERSEL FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERLE  
BELİRLENMESİ**

Vuralhan ÖZÇELİK 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: 17/03/2022

## 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.

17 Mart 2022

Vuralhan ÖZÇELİK



## TEŐEKKÖR

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 ve Dr. Öğr. Üyesi Remzi EKER hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca arazi çalışmalarında yardımlarını aldığım Burak TÜRKAY'a teşekkür ederim.

Yardım ve desteğini gördüğüm Seben Orman İşletme Müdürlüğü Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği personeline teşekkür ederim.

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

17 Mart 2022

Vuralhan ÖZÇELİK

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                                                                                         |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                      | vii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                                    | viii |
| KISALTMALAR.....                                                                        | ix   |
| SİMGELER .....                                                                          | x    |
| ÖZET .....                                                                              | xi   |
| ABSTRACT .....                                                                          | xii  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                          | 1    |
| 1.1. ORMAN YOLLARI .....                                                                | 4    |
| 1.1.1. Kazı ve Dolgu Şevleri.....                                                       | 5    |
| 1.1.2. Kazı ve Dolgu Şevlerinin Bozulmasına Etki Eden Faktörler.....                    | 7    |
| 1.1.3. Kazı ve Dolgu Şevlerinde Deformasyon Tipleri.....                                | 8    |
| 1.1.3.1. Erozyon.....                                                                   | 9    |
| 1.1.4. Toprak Kayıplarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler .....                   | 12   |
| 1.1.4.1. Geleneksel Yöntemler.....                                                      | 12   |
| 1.1.4.2. Fotogrametrik Yöntemler .....                                                  | 13   |
| 1.2. İHA SİSTEMLERİ.....                                                                | 14   |
| 1.3. YERSEL FOTOGRAMETRİK SİSTEMLER .....                                               | 15   |
| 2. MATERYAL VE YÖNTEM.....                                                              | 17   |
| 2.1. MATERYAL .....                                                                     | 17   |
| 2.1.1. Araştırma Alanı.....                                                             | 17   |
| 2.1.1.1. Yeri (Mevkii).....                                                             | 17   |
| 2.1.1.2. Çalışma Alanı Orman Varlığı ve Yol Ağı Durumu.....                             | 18   |
| 2.1.1.3. Çalışma Alanı İklim ve Bitki Örtüsü.....                                       | 18   |
| 2.1.1.4. İş Akış Şeması.....                                                            | 20   |
| 2.2. YÖNTEM .....                                                                       | 20   |
| 2.2.1. İHA Sistemi ve Yersel Fotogrametrik Yöntemle Sayısal Görüntülerin Alınması ..... | 20   |
| 2.2.1.1. İHA ile sayısal görüntülerin alınması .....                                    | 20   |
| 2.2.1.2. Yersel Fotogrametrik Alım .....                                                | 24   |
| 2.2.2. İHA ve Yersel Fotogrametrik Yöntemlerin Karşılaştırılması .....                  | 25   |
| 2.2.3. Kazı Şevi Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi .....                            | 25   |
| 2.2.4. Kullanılan İstatistik Yöntemler .....                                            | 31   |

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                                                        | <b>32</b> |
| <b>3.1. KAZI ŞEVİ ÖZELLİKLERİ VE KAZI ŞEVİNİN SAYISAL YÜKSEKLİK<br/>        MODELİNE AİT BULGULAR.....</b> | <b>32</b> |
| <b>3.2. İHA VE YERSEL FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERİN<br/>        KARŞILAŞTIRILMASINA AİT BULGUAR.....</b>       | <b>34</b> |
| <b>3.3. KAZI ŞEVİ YÜZEY DEFORMASYONUNA AİT BULGULAR.....</b>                                               | <b>36</b> |
| <b>3.4. İSTATİSTİKİ SONUÇLARA AİT BULGULAR.....</b>                                                        | <b>42</b> |
| <b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                                                       | <b>44</b> |
| <b>5. KAYNAKLAR .....</b>                                                                                  | <b>46</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                                                      | <b>52</b> |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                                                                   | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1. Orman Yollarında Şevler (Peker, 1988).....                                                                                                                                                                             | 6               |
| Şekil 1.2. Orman Yolu En Kesit Ölçüleri (OGM, 2008).....                                                                                                                                                                          | 6               |
| Şekil 1.3. Şev üçgeninde h ve b değerlerinin yeri (Erdaş, 1997).....                                                                                                                                                              | 7               |
| Şekil 1.4. Kazı şevinde kayma.....                                                                                                                                                                                                | 9               |
| Şekil 1.5. Yüzeysel akış parselleri.....                                                                                                                                                                                          | 13              |
| Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi.....                                                                                                                                                                                          | 17              |
| Şekil 2.2. Çalışma alanı orman yol ağı haritası.....                                                                                                                                                                              | 18              |
| Şekil 2.3. Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği meşcere haritası.....                                                                                                                                                                 | 19              |
| Şekil 2.4. İş Akış Şeması.....                                                                                                                                                                                                    | 20              |
| Şekil 2.5. YKN'nin alana applike edilmesi ve RTK-GNSS alıcı ile koordinatlarının ölçülmesi.....                                                                                                                                   | 22              |
| Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan yapay YKN (20x10 cm) örnekleri.....                                                                                                                                                               | 22              |
| Şekil 2.7. DJI Phantom 4 RTK model İHA ve uzaktan kumandası.....                                                                                                                                                                  | 24              |
| Şekil 2.8. Açılı tripod başlığı ve GoProHero 5 Black marka dijital kamera.....                                                                                                                                                    | 25              |
| Şekil 2.9. Yersel Fotogrametrik alımlar.....                                                                                                                                                                                      | 25              |
| Şekil 2.10. Dış etkenler (ağaç kökleri ve dal parçaları).....                                                                                                                                                                     | 26              |
| Şekil 2.11. Agisoft Photoscan Professional version 1.7.6 yazılımında verilerin işlenmesi (İHA).....                                                                                                                               | 27              |
| Şekil 2.12. Agisoft Photoscan Professional version 1.7.6 yazılımında verilerin işlenmesi (Yersel Fotoğraflama).....                                                                                                               | 28              |
| Şekil 2.13. Fark SYM verisi üretimi.....                                                                                                                                                                                          | 29              |
| Şekil 2.14. ArcGISArcMap için kullanılan araç kutusu.....                                                                                                                                                                         | 29              |
| Şekil 2.15. Fark SYM verisinden erozyon (aşınma) ve birikme hacim ve alanlarının elde edilmesi(Sıfır Çizgisi: İki SYM arasındaki farkın sıfır olduğu yani herhangi bir aşınma veya birikmenin olmadığı anlamına gelmektedir)..... | 30              |
| Şekil 2.16. Geliştirilen araç kutusu çıktısı olan metin dosyası örnek görüntüsü.....                                                                                                                                              | 30              |
| Şekil 3.1. Çalışma alanına ait İHA ortofoto verileri (a) ve SYM verileri (b).....                                                                                                                                                 | 32              |
| Şekil 3.2. Çalışma alanına ait yersel fotogrametri ortofoto verileri (a) SYM verileri (b).....                                                                                                                                    | 33              |
| Şekil 3.3. İHA ve yersel fotogrametri verilerinden üretilen fark SYM verilerindeyol yüzeyindeki kaya parçasının belirlenmesi durumu.....                                                                                          | 35              |
| Şekil 3.4. İHA ve yersel fotogrametri ile alınan görüntülerdeki çözünürlüğe bağlı detaylarda ayırt edilebilirlik.....                                                                                                             | 36              |
| Şekil 3.5. Kazı şevinde meydana gelen deformasyon görüntüleri.....                                                                                                                                                                | 37              |
| Şekil 3.6. İHA'ya ait alansal deformasyon haritası.....                                                                                                                                                                           | 38              |
| Şekil 3.7. Yersel Fotogrametriye ait alansal deformasyon haritası.....                                                                                                                                                            | 39              |
| Şekil 3.8. İHA'ya ait hacimsel bozulmalar haritaları.....                                                                                                                                                                         | 40              |
| Şekil 3.9. Yersel Fotogrametriye ait hacimsel bozulmalar haritaları.....                                                                                                                                                          | 41              |

## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                                       | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Çizelge 1.1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008). ....                                                   | 5                      |
| Çizelge 2.1. Seben meteoroloji istasyonu bazı iklim verileri (DMİ, 2019).....                                         | 19                     |
| Çizelge 2.2. Veri işleme, görselleştirme ve analizlerde kullanılan dizüstü bilgisayara<br>ait teknik özellikler ..... | 21                     |
| Çizelge 2.3. YKN olarak kullanılan koordinatları .....                                                                | 23                     |
| Çizelge 3.1. İHA ve Yersel Fotogrametriye ait bulgular .....                                                          | 34                     |
| Çizelge 3.2. Çalışma alanı Mayıs 2020 ve Kasım 2020 tarihleri arasındaki alansal<br>aşınma ve birikme miktarı. ....   | 38                     |
| Çizelge 3.3. Çalışma alanı Mayıs 2020 ve Kasım 2020 tarihleri arasındaki hacimsel<br>aşınma ve birikme miktarı. ....  | 40                     |
| Çizelge 3.4. İHA ve Yersel Fotogrametri zaman serileri YKN Z fark değerleri ve<br>ortalama hata. ....                 | 42                     |
| Çizelge 3.5. İHA ve Yersel Fotogrametri zaman serileri YKN Z farkları arasında<br>bağımlı iki örnek t-testi. ....     | 43                     |

## KISALTMALAR

|       |                                                                     |
|-------|---------------------------------------------------------------------|
| EBT   | Enkesit B Tipi Orman Yolu                                           |
| GPS   | Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)           |
| İHA   | İnsansız Hava Aracı                                                 |
| LIDAR | Light Detection and Ranging (Lazer Görüntüleme Algılama ve Değişme) |
| NBT   | Normal B Tipi Orman Yolu                                            |
| SBT   | Standartları Yükseltilmiş B Tipi Tali Orman Yolu                    |
| SYM   | Sayısal Yükseklik Modeli                                            |
| UAV   | Unmanned Aerial Vehicles (İnsansız Hava Aracı)                      |
| YKN   | Yer Kontrol Noktaları                                               |

## SİMGELER

|                |            |
|----------------|------------|
| Ha             | Hektar     |
| km             | Kilometre  |
| m              | Metre      |
| m <sup>2</sup> | Metrekare  |
| m <sup>3</sup> | Metreküp   |
| yr             | Year (Yıl) |
| %              | Yüzde      |
| °              | Derece     |



## ÖZET

### YARI KURAK DAĞLIK ALANLARDA ORMAN YOLU KAZI ŞEVLERİNDE MEYDANA GELEN TOPRAK KAYIPLARININ İHA VE YERSEL FOTOGRA METRİK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Vuralhan ÖZÇELİK  
Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yılmaz TÜRK

Mart 2022, 51 sayfa

Genellikle dağlık alanlarda bulunan ormanların işletmeye açılmasında orman yolları yeterli mühendislik standartlarında ve gerekli koruyucu önlemler alınmadan inşa edildiklerinde bazı olumsuz sonuçlar ortaya çıkarabilmektedirler. Bu olumsuz sonuçların sebep olduğu sorunların başında toprak erozyonu (kayıpları) gelmektedir. Özellikle yarı kurak alanlarda bu konu daha fazla önem arz etmektedir. Bu nedenle orman yolları inşa edildikten sonraki dönemlerde izlenerek sebep oldukları toprak kayıpları ortaya konulmalıdır. Yoğun emek ve iş gücü gerektiren geleneksel toprak kaybı belirleme çalışmalarında; parsel kurulumundaki zorluklar, sisteminin bağlantı noktalarından oluşan kaçaklar, depolama birimlerindeki malzemenin taşması ve meydana gelen yağışların düzenli takip edilmesi vb. gibi sistemin dezavantajları bulunmaktadır. Ancak son yıllarda uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesiyle beraber geleneksel ölçümlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmaya ve en aza indirmeye imkân veren uzaktan algılama gibi alternatif yöntemler de ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında uzaktan algılama tekniklerinden olan, İHA ve yersel fotogrametrik yöntemlerin kullanım imkânlarını değerlendirmeye yönelik, yarı kurak dağlık alanlarda orman yolu kazı şevlerinde meydana gelen toprak kayıplarının belirlenmesi amacıyla uygulamalar yapılmıştır. Ayrıca yöntemlerin avantaj ve dezavantajları irdelenmiştir. Çalışma alanı olarak Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği (Seben/Bolu) sınırları içerisinde yer alan ve 2019 Ağustos ayında yapımı tamamlanan 3,7 km uzunluğundaki 001 kodlu B Tipi orman yolunun 100 metrelik kısmı seçilmiştir. Veri alımları İHA ve yersel fotogrametrik yöntemlerle Mayıs 2020-Kasım 2020 döneminde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; seçilen yolun kazı şevinde birim alandaki alansal erozyon ve birikme büyüklükleri İHA ile  $0,080 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  erozyon,  $0,067 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  birikme, yersel fotogrametrik yöntemle  $0,127 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  erozyon,  $0,088 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$  birikme tespit edilmiştir. Ayrıca kazı şevinde birim alanda hacimsel erozyon ve birikme miktarları ise İHA ile  $-0,0060 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$  aşınma miktarı,  $0,0046 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$  birikme miktarı, yersel fotogrametrik yöntemle  $-0,0050 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$  aşınma miktarı,  $0,0031 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$  birikme miktarı bulunmuştur. Her iki yöntem zamansal olarak karşılaştırıldığında yersel fotogrametri yönteminde işlemler yaklaşık 2 kat daha uzun sürmüştür. Ayrıca İHA ile üretilen SYM ve ortofotoların yer örneklem mesafesi 2 cm iken, yersel fotogrametri yönteminde 1 cm olarak elde edilmiş, yersel alımlar 2 kat daha yüksek çözünürlüklü bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre bu gibi çalışmalarda yersel fotogrametrik yöntem daha doğru sonuçlar vermektedir.

**Anahtar sözcükler:** Erozyon, İHA, Orman yolu şevleri, Yarı-Kurak, Yersel fotogrametri.

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF SOIL LOSSES IN FOREST ROAD SLOPES IN SEMI-ARID MOUNTAINOUS AREAS BY UAV AND TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRIC METHODS

Vuralhan ÖZÇELİK  
Düzce University

Institute of Graduate Studies, Department of Forestry Engineering  
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yılmaz TÜRK

March 2022, 51 pages

The construction of forest roads in order to put the mountainous forests into operation brings with it some problems if not careful enough and the necessary protective measures are not taken. Soil erosion comes first among these problems. This issue is especially important in semi-arid ecosystems. The traditional soil loss determination method; difficulty of parcel establishment, leaks from connection points in the system, overflow of collection tank and monitoring of precipitation time etc. has such disadvantages. With the development of remote sensing technology in recent years, access to soil loss data and obtaining results can be economical, easy and fast. In this thesis, an alternative to the traditional soil loss determination method was investigated by UAV and terrestrial photogrammetric methods. The aim of this study is to determine the soil losses in forest road cutslopes in semi-arid mountainous areas by UAV and terrestrial photogrammetric methods. In addition, the advantages and disadvantages of both methods used in the study were examined. In this context, the 100-meter part of the 3,7 km-long Type B forest road with the code 001, whose construction was completed in August 2019, within the boundaries of the Taşlıyayla Forest Management Chief (Seben/Bolu), was chosen as the study area. Data acquisition was carried out by UAV and terrestrial photogrammetric methods in the period of May 2020 - November 2020. In the results of study; degradation per unit was determined by UAV erosion in  $0.080 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  area and accumulation in  $0.067 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  area and by terrestrial photogrammetry erosion in  $0.127 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  area and accumulation in  $0.088 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  area. In addition, according to the volumetric degradation per unit area results,  $-0.0060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  erosion amount and  $0.0046 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  accumulation amount were determined in the UAV. In the photogrammetric method,  $-0.0050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  erosion amount and  $0.0031 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$  accumulation amount were found. When both methods were compared temporally, the processes took approximately 2 times longer in the terrestrial photogrammetry method. In addition, while the ground sampling distance of DEM and orthophoto produced with the UAV was 2 cm, it was obtained as 1 cm in the terrestrial photogrammetry method, terrestrial receptions were found to be 2 times higher resolution. According to the results obtained, the terrestrial photogrammetric method gives results that are more accurate in such studies.

**Keywords:** Erosion, Forest road slopes, Semi-Arid areas, Terrestrial photogrammetric, UAV.

## 1. GİRİŞ

Orman yolları, yenilenebilir doğal kaynaklar olan ormanları işletmeye açmak için yapılan en önemli altyapı tesisleridir. Orman yollarının oluşturduğu orman yol ağının düzenli ve kapsamlı olarak inşa edilmesi halinde, başta koruma olmak üzere ormanda uygulanacak her türlü bilimsel ve teknik müdahale ve her tür orman ürününün orman dışına taşınarak kıymetlendirilmesini sağlamak mümkün olmaktadır (DPT, 2001). Ayrıca orman içi ağaçlandırma çalışmaları, orman yangınlarına müdahalede hızlı ulaşım sağlanması yol ağının orman içine dağılışına bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle ormancılık tekniklerinin uygulanabilmesinde orman yolu yapımı büyük önem taşımaktadır (Erdaş, 1997). Ayrıca orman yolları bir yandan odun hammaddesi, personel, malzeme ve ekipman nakline, bir yandan da orman köylerine ulaşım ihtiyaçlarına ve halkın rekreasyonel isteklerinin karşılanmasına imkân sağlar. Bu suretle orman yolları ekonomik, sosyal ve hatta kültürel fayda oluşturur (DPT, 2001).

Ülkemiz coğrafi konum, topografya, iklim, jeolojik yapı ve toprak şartları bakımından erozyona karşı oldukça hassastır. Erozyon, çeşitli etkenlerle toprağın aşınması, taşınması ve birikmesi olayıdır (Anonim, 2020). Karabulut ve Küçükönder (2008), kurak ve yarı kurak bölgelerde erozyonun daha şiddetli gerçekleştiğini ve bununla birlikte özellikle insan etkisinden dolayı diğer bölgelerde de erozyon şiddetinin artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Balcı (1969), İç Anadolu'da jeolojik yapı, topografik durum (bakı) ve toprak derinliği faktörlerinin aşınabilirlik ile ilgili toprak özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Her jeolojik ana materyale ait topraklar, ister kuzey bakı veya güney bakıda olsun, ister üst toprağı veya alt toprağı teşkil etsin, hepsinin erozyona veya erozyonu oluşturan kuvvetlere karşı dayanıklı olmayan topraklar olduğunu belirlemiştir.

Bütün yollar gibi orman yolları da inşasından sonra bozulmalara maruz kalır. Orman kaynaklarının geliştirilmesinde yol inşası her ne kadar gerekli olsa da, bazı çevresel problemleri de beraberinde getirmektedir. Bunlardan biri de toprak erozyonunun hızlanmasıdır. Orman ekosistemleri; verimli üst toprak, yığın yoğunluğu, geçirgenlik ve erozyon direncini sağlayan organik maddeler bakımından zengindir. Yol yapım aşamasında bu üst toprak bozularak toprağın stabil yapısı değişir. Bu nedenle, orman

yollarının hem kazı hem de dolgu şevlerinde erozyon ve yüzey akışı nedeniyle toprak kaybı hızlanır (Uzunsoy ve Görcelioğlu, 1985; Bayoglu, 1997; Görcelioğlu, 2004a; Aruga ve diğ., 2005; Bjorklund, 2006).

Yol yapım çalışmaları sırasında uygulanan işlemlerden dolayı doğal bitki örtüsü bozulmakta, bitkisel yüzey toprağının yeterince korunmaması, kazılarak ortamdan uzaklaştırılması sonucunda yolun çevresindeki alanlar hem erozyona maruz kalmakta, hem de yolun ve çevresinin görüntüsünü bozmaktadır. Erozyon, yollarda hendeklerin dolmasına; hendeklerden akan sularla taşınan toprağın büz ve menfezleri doldurup görevini yitirmesine neden olmaktadır. Hendeklerin dolması sonucunda banket ve yol kaplaması yumuşayarak bozulmakta, yollarda kaymalar ortaya çıkmakta, gelen materyal yol platformuna taşarak yolu kapatmaktadır. Erozyonun neden olduğu bu hasarlar yol yapımı için harcanan büyük miktardaki harcamalara ek olarak yeni harcamalara (büyük onarım) neden olmaktadır (Peker, 1998).

Orman yollarında meydana gelen erozyonun çeşitli zararlı etkileri bulunmaktadır. Erozyonun doğrudan doğruya yolun kendisine verdiği zararlar bu etkilerin başında gelir. Genellikle, orman yollarının inşasından sonra artan erozyonun ana nedeni, yol boyunca koruyucu floranın kısmen veya tamamen ortadan kaldırılması olarak sıralanabilir (Megahan, 1977; Jordan ve Martinez-Zavala, 2008; Zemke, 2016). Derin kazılar ve yüksek dolgular peyzajı değiştirerek kazı ve dolgu şevlerinin yıllarca bitki örtüsünden yoksun kalmasına ve daha da önemlisi buna bağlı olarak kazı şevi uzunluğun artması ile birlikte erozyona neden olabilir (Görcelioğlu, 2004a).

Orman ekosistemlerindeki erozyon seviyesi, arazi kullanımı (Zhang ve diğ., 2015), iklim (Maetens ve diğ., 2012), arazi özellikleri (Wang ve diğ., 2016), toprak özellikleri (Ferreira ve diğ., 2015) ve tür bileşimi (Berendse ve diğ., 2015) gibi ekolojik faktörlerden etkilenmektedir. Bununla birlikte, silvikültürel faaliyetler(uygulama ve üretim işleri) ve antropojenik olaylar da (yol inşaatı gibi) toprak erozyonu üzerinde önemli etkilere sahiptir (Nearing ve diğ., 2017).

Sediment üretiminin % 90'ından fazlası orman yollarından kaynaklanmaktadır (Elliot ve diğ., 1994). Yapılan bazı çalışmalarda kazı ve dolgu şevlerindeki sediment kaybı miktarları karşılaştırılmış, kazı şevlerinde daha çok kayıplar olduğu belirtilmiştir (Sidle ve diğ., 2004; Arnáez ve diğ., 2007; Jordan ve Martinez-Zavala, 2008; Hacısalihoglu ve diğ., 2019).

Orman yol yüzeyleri ve yollarının çevresel ve ekolojik etkileri ile ilgili bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır (Forman, 1998; Safari ve diğ., 2013; Zemke ve König, 2016; Turk, 2018). Bazı çalışmalarda doğal ve bozulmuş alanlardaki toprak kayıpları karşılaştırılmış, yağmur simülasyonu ile orman yollarındaki toprak kaybı ve akış oranları incelenmiştir (Megahan, 1977; Jordan ve Martinez-Zavala, 2008; Arnáez ve diğ., 2018).

Yollarında meydana gelen erozyon gibi deformasyonların belirlenmesinde fotogrametrik yöntemler kullanılmaktadır. Yollar üzerinde fotogrametrik yöntemler ile yapılan ilk çalışma örneği Zhang (2008) tarafından toprak yol durumlarının değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada yerden 50 m yükseklikten İHA ile veri alımları yapılmıştır. Díaz-Vilariño ve diğ. (2016) ise çalışmalarında dağlık alandaki asfalt bir yolda, İHA kullanarak elde ettiği fotogrametrik veri kalitesi ile mobil LİDAR sistemi kullanılarak alınan verileri karşılaştırarak yol yüzeyindeki akışların (runoff) tespit edilmesindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Hrůza ve diğ. (2016) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmada orman yollarında meydana gelen aşınma tabakalarının (wearing course) İHA ile tespit edilmesi ve izlenmesi imkânlarını ortaya koymuşlardır. Dobson ve diğ. (2013) de, bir toprak (kaplamasız) yolun periyodik olarak etkin şekilde gözlemlenmesi gerektiğini vurgulayarak İHA tabanlı bir yaklaşımla yol deformasyonlarının (yıkanma, çatlama, çukurlukların oluşması ve yol platformunda oluşan kesit bozuklukları gibi) izlenmesine ilişkin bir çalışma yapmışlardır.

Ülkemizde orman yolları ile ilgili yapılan bir çalışmada ise Akgül ve diğ. (2017) orman yolu üst yapısında oluşan deformasyonlarda etkin bir role sahip olan meteorolojik durumların yersel lazer tarayıcı kullanılarak değerlendirmişlerdir. Turk ve diğ. (2018) yapmış oldukları çalışmada, orman yolları inşaat faaliyetlerinin çevresel etkilerini belirlemede İHA kullanımının olanaklarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada optik sensörlerin, yol yapımı nedeniyle dolgu alanın ve inşaat etki alanının haritalanmasında meşcere yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde sınırlı yeteneklere sahip olduğu ifade edilmiştir. Bundan başka Buğday (2018) yapmış olduğu çalışmada; orman yolları inşası çalışmalarında oluşan kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesinde İHA'nın kullanım kabiliyetini incelemiştir. İHA tabanlı yol yüzey deformasyonlarının izlenmesine ilişkin son dönem çalışmalar ise Türk ve diğ. (2019a, 2019b) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda orman yolu üst yapısındaki bozulmalar İHA ile tespit edilmiştir.

Orman yolları ile ilgili olarak yersel fotogrametrinin kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ayrıca tez konusu ile ilgili İHA ve yersel fotogrametrinin kullanıldığı bir

Çalışma bulunamamıştır. Yersel fotogrametri ile ilgili olarak Gülci ve şireli (2019) tarafından orman ürünleri transportu nedeniyle meydana gelen sürütme yolu yüzey bozulmalarında yersel fotogrametrinin kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Hrza ve diğ. (2018), araç üzerine 3 m’lik sabit bir yükseklikte jalon üzerine monte edilmiş kamera sistemi yardımıyla yol yüzey bozulmaları tespitinde yakın resim fotogrametrisi yöntemini araştırmıştır.

Bu tez kapsamında çalışma alanı olarak yarı kurak dağlık bölgede yer alan Seben Orman İşletme Müdürlüğü (Bolu), Taşlıyayla İşletme şefliği içerisindeki 001 kodlu B Tipi orman yolunun 100 metrelik kısmı seçilmiştir. Söz konusu yolun kazı şevindeki deformasyonlar Mayıs 2020-Kasım 2020 aralığını kapsayan dönemde İHA ve yersel fotogrametri yöntemleriyle izlenmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı;

1. Yarı kurak dağlık alanlarda orman yolu kazı şevlerinde meydana gelen toprak kayıplarının (erozyonun/aşınmanın) İHA ve yersel fotogrametrik yöntemlerle belirlemek,
2. İHA ve yersel fotogrametrik yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymaktır.

## **1.1. ORMAN YOLLARI**

Orman yolları, orman içi ve orman dışıyla bağlantıyı sağlayarak ormanların işletmeye açılmasına hizmet eden, lastik tekerlekli araçların bütün yıl nakliyat yapmasına imkân sağlayan tek şeritli yollar olarak tanımlanmaktadır (Erdaş, 1997). Orman yolları inşası ile karayollarından ayrılan en önemli özellikleri, planlama ilkeleri ve standartları açısından farklılık göstermesidir. Ayrıca teknik, ekonomik ve orman ürünleri taşımacılığı açısından da farklılıklar vardır (Hasdemir ve Demir, 2000).

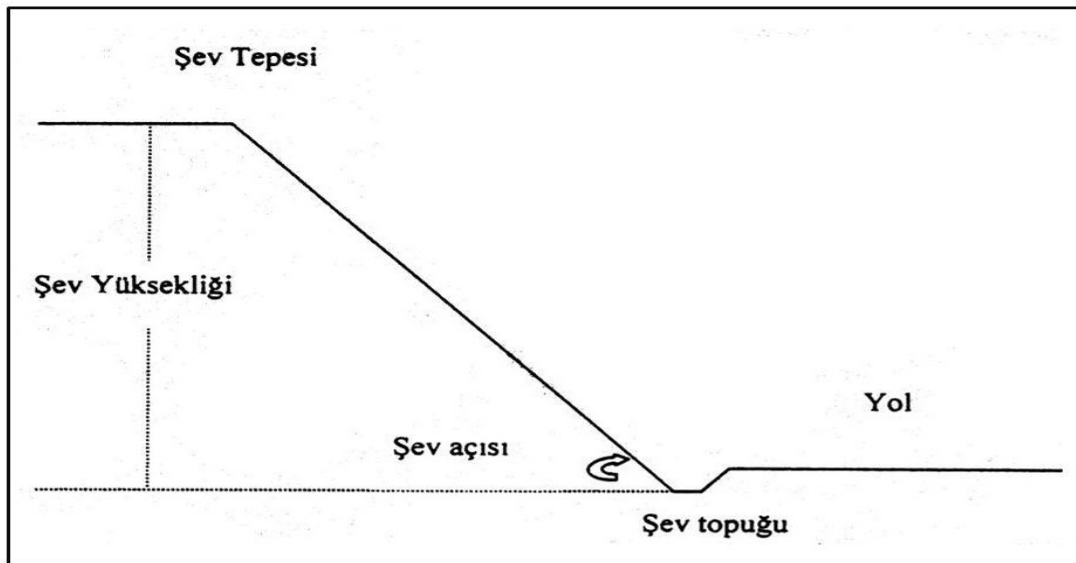
Ülkemizde orman yolları, bir yıl boyunca taşınacak ürün miktarı, yapılış amaçları, trafik yoğunluğu, hareketli araçların büyüklüğü ve tonajları dikkate alınarak ana orman yolu, tali orman yolları (A tipi ve B tipi tali orman yolları) ve traktör yolu olmak üzere 3 ana bölüme ayrılmaktadır (izelge 1.1).

Çizelge 1.1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008).

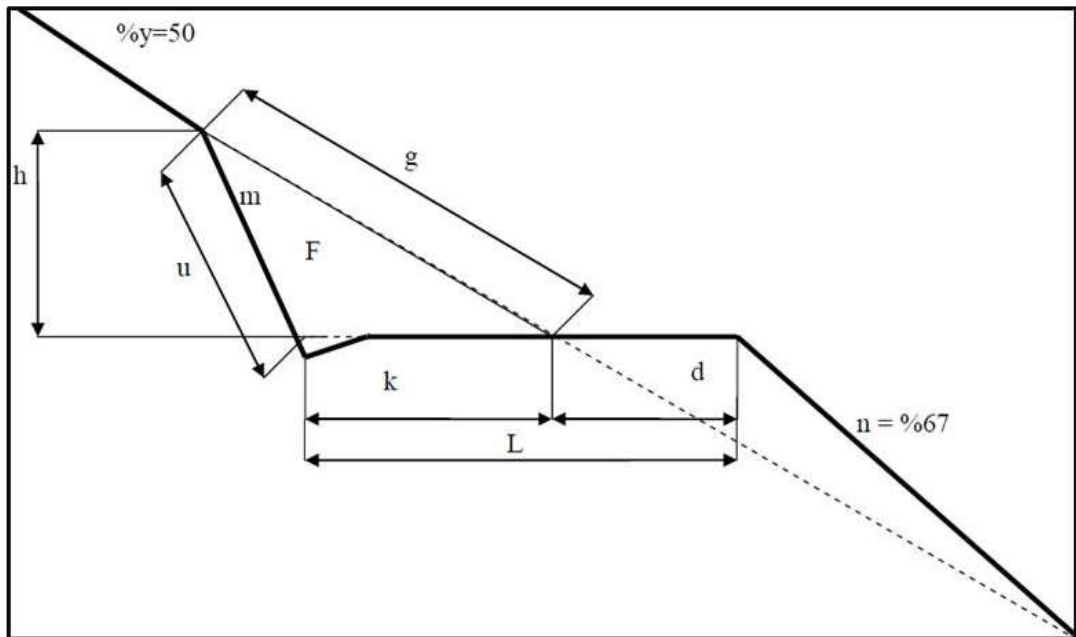
| Yolun Tipi           | Birimi | Ana Orman Yolu | Tali Orman Yolu |           |      |           | Traktör Yolu |
|----------------------|--------|----------------|-----------------|-----------|------|-----------|--------------|
|                      |        |                | A - Tipi        | B - Tipi  |      |           |              |
|                      |        |                |                 | SBT       | NBT  | EBT       |              |
| Platform genişliği   | m      | 7              | 6               | 5         | 4    | 3         | 3,5          |
| Şerit sayısı         | Adet   | 2              | 1               | 1         | 1    | 1         | 1            |
| Azami eğim           | %      | 8              | 10              | 9         | 12   | 12        | 20           |
| Asgari kurp yarıçapı | m      | 50             | 35              | 20        | 12   | 8         | 8            |
| Şerit genişliği      | m      | 3              | 3               | 3         | 3    | 3         | 3            |
| Banket genişliği     | m      | 0,50           | 0,50            | 0,50      | 0,50 | 0.50      | -            |
| Hendek genişliği     | m      | 1,00           | 1,00            | 1,00      | 1,00 | 0.50      | -            |
| Üst yapı genişliği   | m      | 6              | 5               | 4         | 3    | 3         | -            |
| Köprü genişliği      | m      | 7+(2x0,6)      | 6+(2x0,6)       | 5+(2x0,6) |      | 4+(2x0,6) | -            |

#### 1.1.1. Kazı ve Dolgu Şevleri

Herhangi bir kazı ve dolguda platform kenarı ile doğal yüzey arasındaki eğik düzleme “şev” denir (Erdaş, 1997). Şevin en yüksek noktası “şev tepesi”, alt kenarı “şev topuğu”, bu iki nokta arasındaki düşey mesafe “şev yüksekliği”, şevin yatayla yaptığı açı “şev açısı”, bu açının tanjantı “şev eğimi” olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.1). Şevler oluştuğu malzemeye göre kaya, küskülük ve toprak şevler olarak sınıflandırılır (Peker, 1988). Orman yolu enkesit ölçüleri OGM’ye göre Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Orman yollarında şevler (Peker, 1988).



Şekil 1.2. Orman yolu en kesit ölçüleri (OGM, 2008).

% y =Yamaç eğimini,

$$L = \text{Platform} + \text{hendek yol genişliği}$$

### h = Kazı yüksekliği

m = Kaz1 şevi eğimi 2/1, 3/1, 4/1, 5/1

$n = \text{Dolgu \u015f evi e\u011fi mi } 2/3 = 0.67 \text{ do\u011fal zeminlerin dura\u011fan e\u011fi mi}$

$d$  = İnşa edilen yoldaki dolgu genişliğini,

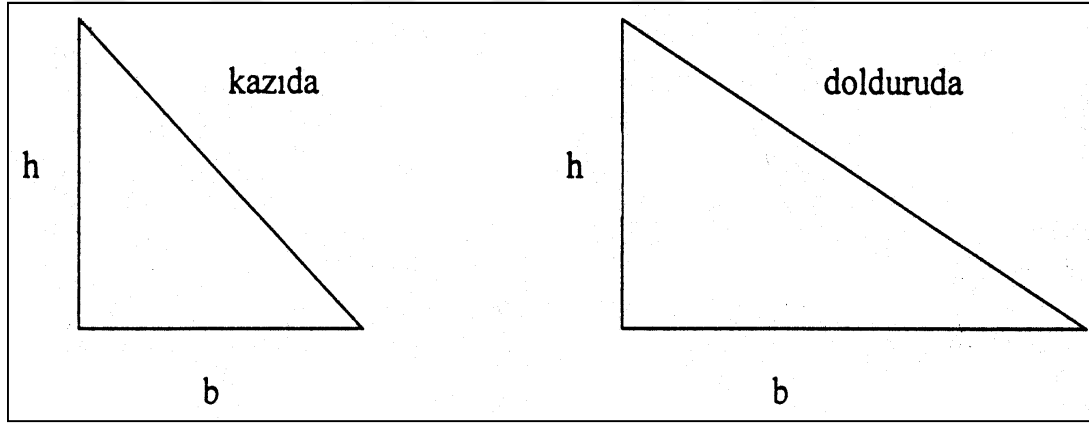
$k$  = İnşa edilen yoldaki kazı genişliğini,

$F = M^2$  cinsinden kazı alanını (hendek kazısı dâhil edilecek),

$g$  = Kazı şevî uzaklığını (şev kazığı - seviye kazığı arası mesafe),

$u$  = Kazı şevî uzunluğunu göstermektedir.

Orman yollarının yapımında dikkate alınan ekonomik, ekolojik ve teknik kriterler bulunduğundan, bu yollarda kazı ve dolgu şevleri, bir yandan zeminin stabilitesini bozmayacak diğer yandan mümkün olduğu kadar az toprak kazısı ve toprak işleri gerektirecek şekilde düzenlenmelidir. Şevlerindeki eğim genel olarak; zeminin özellikleri, kazı derinliği, zemin tabakalaşma durumu, yüzeysel suyun etkileri, inşaat zamanı, iklim ve araç titreşimi gibi faktörlere bağlıdır. Orman yollarında şevlerin eğimi genellikle şev oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bunun için de şev üçgeninden yararlanılmaktadır. Böylece bir zemin cinsinde şev oranı, bir şev üçgeninde yüksekliğin ( $h$ ), tabana ( $b$ ) oranı olarak ifade edilmektedir (Şekil 1.3) (Erdaş, 1997).



Şekil 1.3. Şev üçgeninde  $h$  ve  $b$  değerlerinin yeri (Erdaş, 1997).

### 1.1.2. Kazı ve Dolgu Şevlerinin Bozulmasına Etki Eden Faktörler

Genellikle orman yollarının inşasından sonra erozyonun hızlanmasının başlıca nedenlerini Megahan (1977) şöyle sıralamıştır;

- Yol boyunca koruyucu bitki örtüsünün kısmen ya da tamamen ortadan kaldırılmış olması
- Toprağın doğal strüktürünün ve verim gücünün bozulması ya da zarar görmesi
- Kazı ve dolgu şevlerinde eğimlerin artmış olması
- Yolun çeşitli bölümlerinde, özellikle yol yüzeyinde infiltrasyon hızının azalması ve suların dolgu şevine hareket etmesi

- Yüzey altı su akışlarının kazı şevleri nedeniyle kesintiye uğraması ve bu suların şevlerden yüzeye çıkması
- Kazı ve dolgu şevlerinde basınç ve çekme gerilmelerinin değişikliğe uğraması şeklinde açıklanmıştır.

Şevlerin mümkün olduğu kadar araziye uyumlu olması gerekmektedir. Uygun bir projelendirme, yapılacak yolun bulunduğu ekosistem içerisinde güzel görünmesi, erozyonu azaltmak amacıyla yapılacak bitkilendirme çalışmalarını kolaylaştırması ve bakım masrafını azaltılması için önemlidir. İklim ve diğer etmenler kazı ve dolgu şevleri yüzeylerinde erozyona neden olabilmektedir. Kazı şevlerinde dengesi bozularak zayıflayan toprak aşındığında erozyon ve heyelanlar meydana gelebilmektedir. Kazı ve dolgu şevlerinde oluşan erozyona en büyük etki, yağışlar sonucu araziden ve yol yüzeyinden gelen sulardır. Şevlerin bitkilendirilmesi sonbahar ve kış aylarından önce yani erozyonun şiddetli olmadığı dönemde yapılmalıdır (Peker, 1998).

Orman yollarının görevini tam anlamıyla yerine getirebilmesi için üzerinde inşa edileceği arazi ve zemin etüdünün iyi yapılması ve yol yapımından önce bunun dikkate alınması gerekmektedir (Bayoğlu, 1997; Erdaş, 1997; Acar, 1998). Örneğin bazalt ve kuvarsit anakayaları şevlerde oldukça stabil, taşıma yeteneklerinin çok iyi ve dona dayanıklı olabilmekte, kumtaşı ve kireçtaşı anakayaları ise şevlerde stabil olmamakta, heyelanlar oluşabilmekte, taşıma yetenekleri don olmadıkça iyi olmakta, dondan etkilenmekte ve ayrışabilmektedir (Erdaş, 1997).

### **1.1.3. Kazı ve Dolgu Şevlerinde Deformasyon Tipleri**

Orman yolu şevlerinde genel olarak kütle hareketleri (heyelan) ve erozyon şeklinde deformasyonlar meydana gelmektedir. Görcelioğlu (2004b)'na göre heyelan, yamaç ve şevi oluşturan doğal kaya, toprak vb. ile yapay dolgunun yer çekimi etkisi ile hareketi olarak tanımlanır. Cruden (1991) ise heyelanı kaya, toprak zemin veya molozların yamaç aşağı hareketi şeklinde tanımlamıştır. Heyelanlar; düşme, devrilme, kayma, yanal yayılma ve karmaşık olmak üzere beş sınıfa ayrılır (Varnes, 1978). Orman yollarında genel olarak kayma şeklinde heyelanlar olmaktadır (Şekil 1.4). Bu tez çalışmasında kazı şevlerindeki erozyon incelendiğinden erozyon konusuna daha fazla değinilmiştir.



Şekil 1.4. Kazı şevinde kayma.

#### 1.1.3.1. *Erozyon*

Erozyon, ana kayanın dış etmenler sonucu ayrışmasıyla oluşan materyalin daha çok su ve kısmen de rüzgâr etkisiyle bulunduğu yerden alınarak başka yerlere taşınmasına neden olan dış dinamik olaydır. Erozyonda zemindeki materyalin yerinden kopması nedeniyle meydana gelen aşınma ve bu materyalin su ya da rüzgâr tarafından alınıp götürülmesi sonucu bir biriktirme söz konusudur (Görcelioğlu, 2003). Erozyon olayları, taşımayı gerçekleştiren ortam ya da etken bakımından su ve rüzgâr erozyonu olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Balcı ve Öztan, 1987; Görcelioğlu, 2003).

Su erozyonu; toprak ve arazi yapısının hızla bozulmasına neden olmaktadır ve mutlak çöller haricinde dünyanın hemen her yerinde yaygın şekilde görülmektedir. Su erozyonunda ana faktörler, hareket halindeki suyun hidrolik, mekanik ve çözücü etkileridir. Hidrolik etki; hareket halindeki suyun, kitlesinden ve hızından kaynaklanan kinetik enerji sayesinde yüzeyden tanecikleri koparıp ayırması ve bunları, taşımaya hazır durumdaki diğer partiküllerle birlikte harekete geçirerek götürmesi şeklinde kendini gösterir. Mekanik etki; suyun ve beraberinde taşıdığı katı materyalin zemine, yatak tabanına ve yanlarına çarpması sonucu ve kuvvetle sürtünmesi ile ortaya çıkan etkidir.

Bu etki sonucu meydana gelen aşınmaya korozyon denir. Çözücü etki; suların yüzeydeki ya da yüzey altındaki hareketleri sırasında temasta bulunduğu topraktan ya da ana kayadan suda çözülebilen bazı maddeleri çözüp eriterek bünyelerine katıp götürmesi şeklinde görülür (Görcelioğlu, 2003).

Su erozyonunda ana formlar, amaca ve bakış açısına göre çeşitli şekillerde gruplandırılabilir. Görcelioğlu (2003)'e göre su erozyonu aşağıdaki gibi tiplere ya da formlara ayrılmaktadır.

- Yağmur erozyonu
  - a) Yağmur damlası erozyonu
  - b) Tabaka erozyonu
  - c) Çizgi (çığır) erozyonu
  - d) Oyuntu erozyonu
- Yatak (Mecra) erozyonu
  - a) Derinliğine (vertikal) erozyon
  - b) Yanal erozyon
- Toprak (yüzey altı) suyu erozyonu
- Dalga erozyonu
- Çığ ve buzul erozyonu

Yağmur damlası erozyonu; damlaların doğrudan doğruya çıplak toprak yüzeyine ya da zemini bir zar şeklinde kaplayan ince su yüzeyleri üzerine hızla düşerek çarpması sonucu meydana gelir. Bu çarpma sırasında çok fazla miktarda toprak taneciği yerlerinden koparılıp havaya sıçramaktadır. Dik eğimli yamaç ve şevlerde oluşan bu sıçrama nedeniyle toprak taneciklerinin önemli bir bölümü yamaç aşağısına doğru yer değiştirmektedir.

Tabaka erozyonu; eğimli arazi yüzeylerinde toprağın ince tabakalar halinde taşınmasıdır. Geniş yüzeyleri etkileyen yağmurun ve tüm yüzeyi kaplayan yüzeysel akış yamaç veya şev yüzeylerinin hemen her noktasında yaklaşık olarak aynı miktarda aşınmaya yol açmaktadır. Bu erozyon şekline yüzey yıkanması da denir. Üstteki verimli toprak tabakasını zamanla alıp götüren, yüzeyde belirgin iz bırakmayan ve ancak toprağın renginin giderek açılmasından anlaşılabilen tabaka erozyonunun bir özelliği de, seçici erozyon niteliğinde olmasıdır. Özellikle kumlu topraklar orta şiddette yağmurlara ve tabaka erozyonuna maruz kaldığında, toprak yüzeyinden küçük ve hafif tanecikler

koparılarak yüzeyden akışla taşınır. Bu seçici erozyon süreci sonunda toprak yüzeyinde daha iri ve ağır tanecikler kalır.

Çizgi erozyonu; yüzeysel akışın toplanarak aktığı küçük, fakat belirgin şekilde görülebilen kanalcıklar boyunca toprağın alınıp götürülmesidir. Çizgi erozyonu en çok yeni sürülmüş tarım alanlarında ve yeni oluşturulmuş kazı ve dolgu şevlerinde görülür. Yağış sırasında ya da yağıştan hemen sonra su akıtan bu sığ kanalcıkların derinliği 3-30 cm arasındadır. Bu çığırılar genellikle birbirine paralel ya da dallanmış biçimde gelişir ve her yağışta konumlarını değiştirerek yamaç ya da şevlerde önemli miktarda toprak kaybına neden olurlar.

Oyuntu erozyonu; yüzeysel erozyondan derinliğine erozyona geçişi temsil eden çok yaygın bir erozyon formudur. Çizgi (çığır) erozyonundan daha büyük boyutlarda olan oyuntular da yağışlar sırasında ve yağışlardan hemen sonra su taşırlar. Oyuntu oluşumunda ana neden, yüzeysel akışta meydana gelen artış ve buna bağlı olarak yüzeysel erozyonun şiddetlenmesidir. Yamaç eteklerinde yüzeysel akış derinliği yamaç yukarılarındakine göre daha fazla olduğu için, oyuntulaşma çoğunlukla yamaç aşağılarından başlar ve oyuntu bir yandan derinleşirken, bir yandan da yamaç yukarısına doğru uzamasını sürdürür.

Yatak (mecra) erozyonu; dere yataklarının tabanında ve kıyılarından toprağın koparılıp götürülmesi ile gerçekleşir. Kanal erozyonu da denen yatak erozyonunda yatağın orijinal zeminini oluşturan materyalin taşınmasının yanı sıra, yatağın belli kesimlerinde daha önce çöküp birikmiş boyuttaki sediment yeniden taşınması da söz konusu olur. Yatak erozyonu, akarsularda taşınan toprak sediment yükünün yaklaşık 1/3'ünün kaynağı durumundadır (Kirkby ve Morgan, 1980).

Toprak (yüzey altı) suyu erozyonu; yüzeyden toprak kitlesi içerisine sızan suların buradan bir yamaç ya da şev yüzeyine doğru hareketi sırasında toprak yüzeyinin altında yol açtığı erozyona toprak suyu erozyonu denir. Bu erozyon tipinde, toprağın içerdiği çeşitli kimyasal maddelerin suda çözünmesinin, yani kimyasal erozyonun da katkısı vardır. Bu tip erozyonda sızıntı sular, toprak içinde nispeten kolaylıkla hareket edebildikleri hatlar boyunca çok küçük toprak taneciklerini de bünyelerine katıp götürürler.

Dalga erozyonu; denizlerde, göllerde, baraj göllerinde ve büyük akarsularda kıyılara çarpan dalgaların hidrolik ve mekanik etkileri sonucunda kıyılarda meydana gelen erozyondur. Düzgün bir su yüzeyi üzerinde rüzgâr etkisinde su yüzeyinde oluşmaya

başlayan hafif dalgalar daha sonra rüzgâr dalgalarına dönüşerek kıyılarda erozyona neden olur.

Çığ ve buzul erozyonu; dağlık arazinin yamaç ve vadileri boyunca hareket eden kar ve buz kitlelerinin aşındırma ve taşıma etkileri sonucunda meydana gelir. Eğimli yamaçlarda biriken kar tabakaları, kendi ağırlıklarının etkisi altında dengelerini kaybederek ya geniş alanları etkileyen, fakat eğim doğrultusunda sınırlı kalan çok yavaş bir hareketle, ya da lokal olarak başlayan, fakat yamaç aşağısına doğru etki alanı gittikçe genişleyen ani ve hızlı bir hareketle yerlerini ve durumlarını değiştirirler. Bu iki hareket şekllinden birincisi akma (creep), ikincisine çığ (avalanche) adı verilir. Bu iki hareket şekli de erozyona sebep olur.

Rüzgâr erozyonu; toprağı koruyan bitki örtüsünün uzaklaştırılması özellikle kurak alanlarda rüzgâr erozyonuna neden olur. Rüzgârla toprağın taşınması süspansiyon, sıçrama ve yuvarlanma olmak üzere üç şekilde olmaktadır. Rüzgâr erozyonun oluşum aşamaları; hareketin başlaması, taşınma ve yığma ile biriktirme olmak üzere üçe ayrılır (Balcı ve Öztan, 1987).

#### **1.1.4. Toprak Kayıplarının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler**

##### **1.1.4.1. Geleneksel Yöntemler**

Erozyona karşı gerekli önlemlerin alınması için erozyonun miktarının ve şiddetinin bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle toprağı koruyucu önlemleri içeren çalışmalar daha da başarılı uygulanabilir (Anonim, 2021). Erozyonun belirlenmesinde genel olarak kullanılan ölçüm yöntemleri; doğrudan, dolaylı ve tahmini ölçümler şeklindedir. Su erozyonunun arazide ve laboratuvar koşullarında doğrudan ölçülmesi ve tahmini yöntemler kullanılarak belirlenmesi şeklinde yapılan sınıflandırmalar da bulunmaktadır (Balcı, 1996; Stroosnijder, 2005; Anonim, 2021). Doğrudan ölçüm, çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Yüzeysel akış parseli tesis edilerek erozyon, toprak kaybı ve yüzeysel akışın ölçülmesi en çok kullanılan yöntemlerden biridir (Şekil 1.5). Parsel kullanarak kontrollü ölçme laboratuvar ortamında veya arazi koşullarında doğal yağmur altında veya yapay yağmurlama uygulanarak erozyon ve yüzeysel akışın ölçümü gerçekleştirilmektedir. Arazi üzerinde doğal şartlar altında yapılan erozyon ve yüzeysel akış ölçümlerinde kullanılan parseller genel anlamda yüzeysel akış parselleri olarak adlandırılmaktadır. Yüzeysel akış parselleri erozyon, toprak kaybı, yüzeysel akış ve infiltrasyonun ölçülmesinde kullanılan yöntemlerin en önemlilerinden birisidir

(Şensoy ve diğ., 2011). Parsel denemeleri yöntemi dışında toprak yüzey seviyesinin değişimi yöntemleri de (erozyon çubukları, şişe kapakları vb.) kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin yanı sıra tahmini yöntemlerde (Üniversal Toprak Kaybı Denklemi-USLE, Browning Denklemi, Musgrave Denklemi vb.) toprak kayıplarını belirlemede kullanılmaktadır.

Yüzeysel akış yöntemi, parsellerin tesisi ve sediment kaybı ölçümleri bakımından iş yükü fazla ve zaman alıcıdır. Geleneksel toprak kaybı belirleme yönteminin; parsel kurulumunun zorluğu, sistemde bağlantı noktalarından kaçaklar, depolama birimlerinin taşması ve yağış zamanının takip edilmesi vb. gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle yeni teknolojik gelişmelerin bu çalışmalarda denenmesi önemli olacağı düşünülmektedir.



Şekil 1.5. Yüzeysel akış parselleri.

#### 1.1.4.2. Fotogrametrik Yöntemler

Orman yolu kazı şevlerinde meydana gelen deformasyonların belirlenmesine ilişkin İHA sistemleri ve yersel fotogrametrinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ancak orman yolu üst yapısında meydana gelen deformasyonların belirlenmesine ilişkin fotogrametrik yöntemler kullanılmıştır (Gülci ve Şireli, 2019). Aynı yöntemlerin şev

deformasyonlarında da kullanılabileceği öngörülmektedir. Yol üst yapı deformasyonlarının belirlenmesinde, hataları en aza indirmek ve üst yapı araştırma sürecini standart hale getirebilmek için üst yapı verilerinin depolanması, kaydedilmesi, işlenmesi ve azaltılması konusunda fotogrametrik yöntemler uygulanmaya başlanmıştır (Attoh-Okine ve Adarkwa, 2013). Akgül ve diğ. (2016) orman yolu yüzey modellemesinde nokta bulutu tabanlı yapılan bir çalışmada yersel lazer tarayıcı ve İHA ile elde edilen yol yüzeyi modelleri karşılaştırıldığında hassasiyet açısından birbirine yakın olduğunu ve orman yollarında İHA sistemlerinin kullanılabileceğini vurgulamıştır. Bu nedenle fotogrametrik yöntemlerin orman yolu şevindeki deformasyonların belirlenmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

## 1.2. İHA SİSTEMLERİ

Uydular ve insanlı hava araçları günümüzde uzaktan algılama görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan önemli sistemlerdir. Fakat bu sistemlerin çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. İHA' ların ise maliyetlerinin düşük olması, ağırlıklarının az olması ve düşük uçuş hızlarında görüntü alabilmelerinin yanı sıra yüksek irtifalardan görüntü alımı yapan uçak ve uydu sistemlerinin aksine aynı amaçla bulutlu havalarda kullanılabilmeleri gibi çeşitli avantajlara sahiptirler (Xiang ve Tian, 2011). Bundan başka pilot ile kullanılan hava araçlarına göre daha az risk taşıyarak güvenli olmaları ayrıca istenilen uçuş yüksekliği ve zamanlama açısından kullanıcıya sundukları esneklik de diğer üstünlükleridir. Bilimsel veya sivil amaçlı kullanımlar için İHA' ların sınıflandırılması genellikle platformların büyüklüğü, uçuş toleransı ve kapasitesi gibi özelliklere bağlı olarak mevcut askeri kategoriler ile tanımlamaları yapılmaktadır (Watts ve diğ., 2012).

İHA teknolojisi kullanılarak yapılan ilk uçuş 1916 yılında gerçekleşmiş olması bu teknolojinin aslında yeni olmadığını gösterir niteliktedir (Rango ve diğ., 2006). Hava fotoğrafı için yapılan uçuşun ilk örneği ise 1955 yılındadır (Newcome, 2004). İHA' ların tarihinde sivil uygulamaları keşfedilmeye son yıllarda başlanmış ise de askeri amaçlı kullanımları çoğunluktadır (Dunford ve diğ., 2009).

Son yıllarda uzaktan algılama çalışmalarında İHA kullanımı ayrıca bir artış göstermiştir (Nebiker ve diğ., 2008). Ancak İHA topluluğu 2005 istatistiklerine göre, İHA' ların sivil kullanım oranı sadece %8'dir (Bendea ve diğ., 2008). Günümüzde İHA sistemleri belgeleme, izleme amaçları ve diğerleri gibi geniş şekilde askeri uygulamalarda ve artan

şekilde sivil uygulamalarda kullanılmaktadır (Eisenbeiss ve Sauerbirer, 2011). Hava platformlarının tasarım, araştırma ve üretiminin gelişmesinden sonra, hava fotogrametrisinin İHA talepleri artmıştır (Tahar ve diğ., 2011). İHA'lar tarımda ilaçlama, gözetleme, yol deformasyon tespitinde, kayıt ve kültürel mirasların belgelendirilmesinde kullanılmaktadır (Mitch ve Salah, 2009).

### **1.3. YERSEL FOTOGRAMETRİK SİSTEMLER**

Yakın resim fotogrametrisi ile yüzey modellerinin oluşturulması eski tarihlerden bugüne orman bilimiyle uğraşan birçok bilim adamına ve uygulamacılara uzaktan algılama ve fotogrametriye fayda sağlamaktadır. Geleneksel yöntem ve metotların güncellenmesi ile yeniden hızlı bir ivme kazanan uzaktan algılama sistemleri ve algoritmaları birçok veri elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle ormancılıkta büyük bir artış göstererek yüksek hassasiyette modeller oluşturulmaktadır. Fotogrametride yeni bir çağırın açıldığı “Structure From Motion” (SfM) tekniğinin geliştirilmesi ile tüketici sınıfında bulunan dijital fotoğraf makineleri kullanılarak LIDAR benzeri 3 boyutlu noktalar üretilmektedir. Geleneksel fotogrametri çalışmaları ile benzerlik gösteren SfM tekniğinde dijital kameralar ile pozisyon ve oryantasyon bilgilerine ihtiyaç duymaksızın bindirmeli fotoğraf çiftlerinden 3B modeller elde edilmektedir (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012).

SfM olarak adlandırılan teknik esasında bindirmeli fotoğraf çiftlerinden elde edilen 3 boyutlu görüntüleme yardımıyla sayısal arazi modelleri (Akgul ve diğ., 2018), jeomorfoloji (Stöcker ve diğ., 2015 ) ve arkeoloji (Opitz ve Johnson, 2016) gibi birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Yersel lazer tarayıcı sistemlerin ortaya koyduğu hassasiyet ile karşılaştırılabilir bir başarıya sahiptir. Yersel tarayıcı sistemler ile SfM metodu karşılaştırıldığında, SfM ekipmanları daha hafif, daha kompakt, daha ucuz, daha az güç gereksinimi, daha kolay servis ve bakım imkânı sunmaktadır (Wilkinson ve diğ., 2016).

SfM tekniği ile oluşturulan 3B modeller için bindirmeli görüntü alımlarında insansız hava araçları taşıyıcı platform olarak kullanılmaktadır. Ancak yasal mevzuatlar, hava muhalefeti, topografik yapı ve yüksek bitki örtüsü kapallılığı gibi nedenlerden dolayı taşıyıcı hava platformları kullanılamamaktadır (Westoby ve diğ., 2012). Ayrıca çalışma alanının düz bir ekseninde sürekli doğrusal yapıya sahip olmaması (orman yolları gibi)

durumunda fotogrametrik alım oldukça güçleşmektedir (Tonkin ve diğ., 2014). Bu nedenle jalon benzeri metal ya da ahşap malzemeden yapılmış özel taşıyıcı platformlar yardımıyla insansız hava araçlarının etkisiz olduğu alanlarda görüntü alımı için bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.



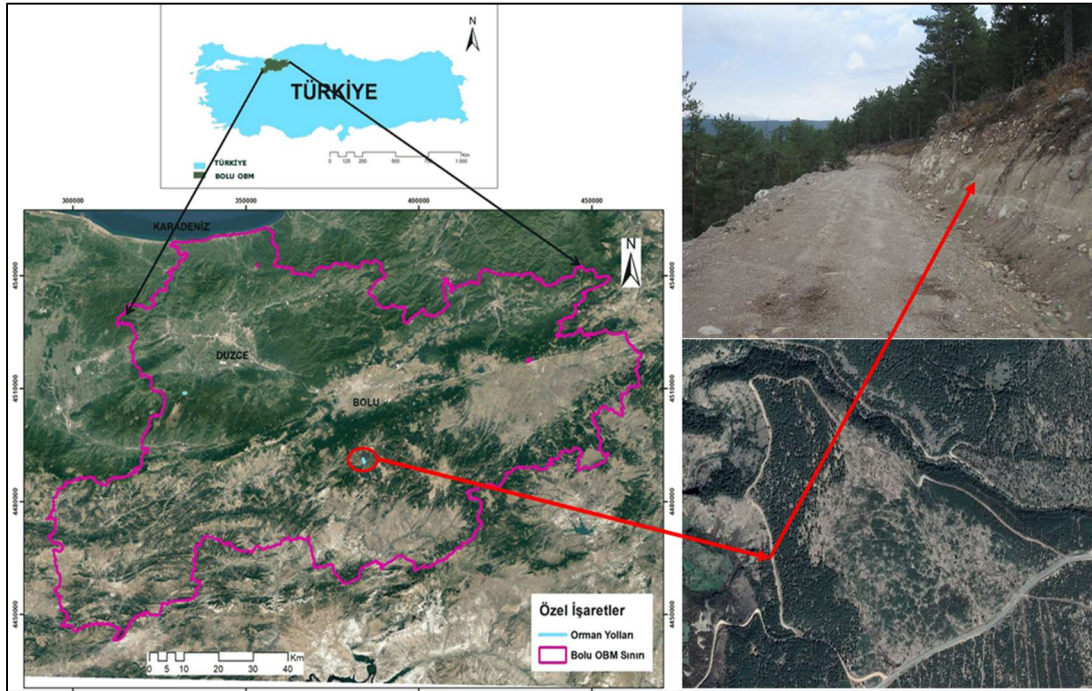
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. MATERYAL

#### 2.1.1. Araştırma Alanı

##### 2.1.1.1. Yeri (Mevkii)

Çalışma alanı için seçilen Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Bolu ili, Seben ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Orman idaresi bakımından ise Bolu Orman Bölge Müdürlüğü, Seben Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2.1). Coğrafi koordinat olarak;  $31^{\circ} 27' 33''$  -  $31^{\circ} 41' 57''$  doğu boylamları ile  $40^{\circ} 27' 55''$  -  $40^{\circ} 34' 00''$  Kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Denizden yüksekliği ise 1200 m ile 1600 m arasında değişmektedir.



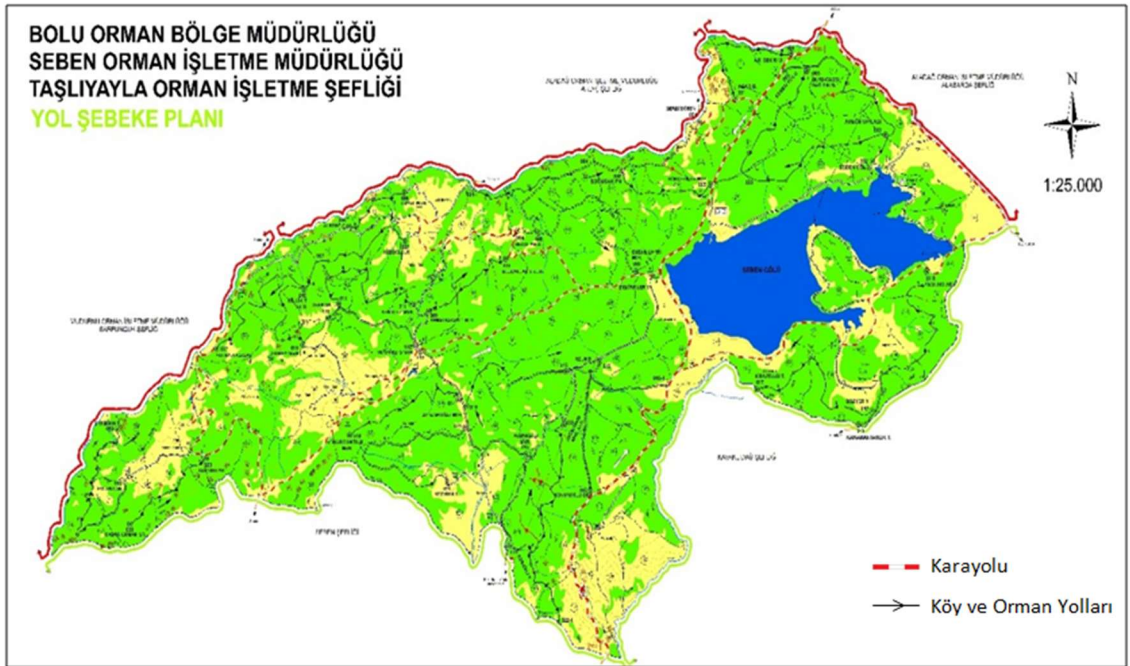
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi.

Tez çalışması kapsamında, üretim ve rekreasyonel (Seben Gölü, Kozyaka Mesire Alanı ve Taşlıyayla Ekoturizm Alanı) araç kullanımına açık olan ve Ağustos 2019 tarihinde yapılan 3+700 km'lik 001 kodlu B Tipi orman yolunun 100 m'lik kısmı seçilmiştir. Seçilen yolda çalışmanın yapılacağı kısma ait yolun boyuna eğimi ortalama %5 ve hakim bakışı batıdır. Çalışma alanı yüksekliği ortalama 1400 m' dir. Alanda yarı kurak iklim

koşulları hüküm sürmektedir. Seben meteoroloji istasyonu iklim verilerine göre yıllık ortama sıcaklık 11,7 °C, yıllık ortalama yağış 438,7 mm' dir. Bu özelliklerinden dolayı çalışma alanı yarı kurak ve dağlık (Çepel, 1995) olma özelliği taşımaktadır.

#### 2.1.1.2. Çalışma Alanı Orman Varlığı ve Yol Ağı Durumu

Taşlıyayla Orman İşletme Şefliğinin toplam büyüklüğü 10309,7 ha olup genel alanın 7201,5 ha'ı ormanlık alan, 3108,2 ha'ı ormansız alandır. Ormanlık alanın 5495,2 ha'ı verimli orman, 1706,3 ha'ı ise verimsiz ormandan oluşmaktadır. Şeflikte mevcut orman yol uzunluğu 41+690 km'dir. Gelecekte yapılması planlanan toplam orman yol uzunluğunu ise 44+135 km olarak tespit edilmiştir (Şekil 2.2). Aktif kullanımda olan orman yollarının hektardaki yoğunluğu 7,59 km/ha'dır. Şeflikte endüstriyel odun hammaddesinin uzak nakliyatında çoğunlukla kamyon az sayıda da traktör-treyler kullanılmaktadır (Anonim, 2018).



Şekil 2.2. Çalışma alanı orman yol ağı haritası.

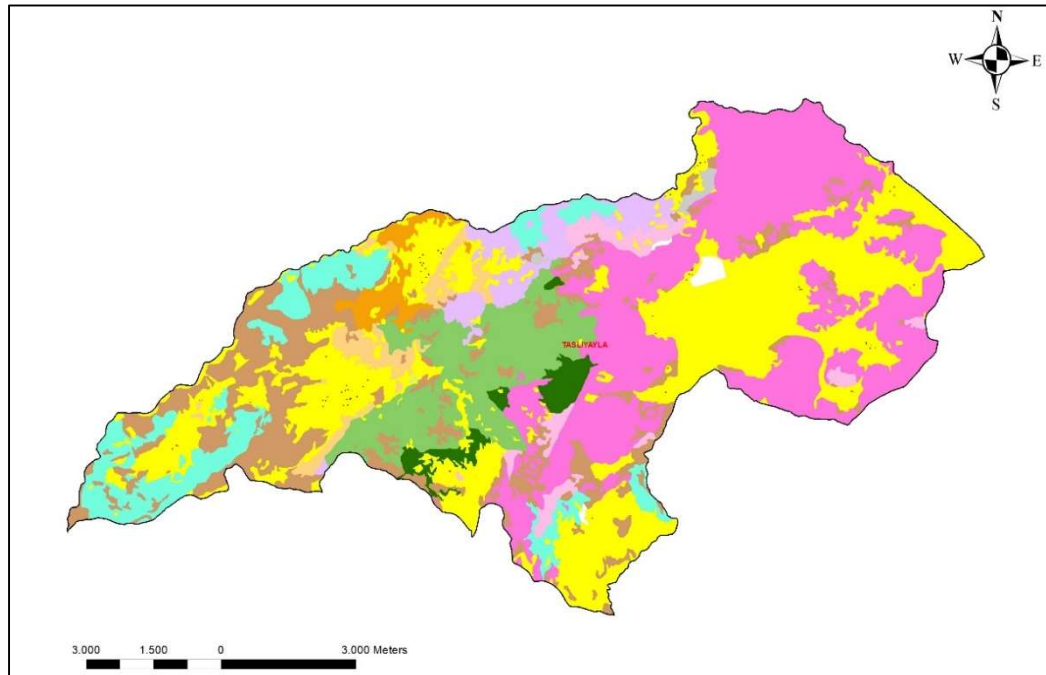
#### 2.1.1.3. Çalışma Alanı İklim ve Bitki Örtüsü

Seben meteoroloji istasyonu iklim verilerine göre yıllık ortama sıcaklık 11,7 °C, yıllık ortalama yağış 438,7 mm'dir. Çalışma alanına ait meteorolojik özelliklerin aylara göre değerleri Çizelge 2.1'de gösterilmektedir. Bölgenin yıllık maksimum sıcaklık ortalaması 18,5 °C ve minimum sıcaklık ortalaması 6,1 °C'dir. Plan ünitesi alanında yazlar serin ve az yağışlı, kışlar ise soğuk, sert ve kar yağışlıdır. Meşcerelerin dağılışında, dağların uzanış

yönü, yükseklik ve bakı gibi unsurlara bağlı olarak farklılıklar görülmektedir. Plan ünitesi ormanları, genel olarak ibreli ormanlardır (Şekil 2.3). Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği'nin asli ağaç türlerini Sarıçam (*Pinus sylvestris*L.), Uludağ Gökmarı (*Abies nordmanniana subsp. Bornmülleriana* Mattf), Sapsız Meşe (*Quercus petraea*), Kavak (*Populus*) oluşturmaktadır. Seçmiş olduğumuz çalışma alanında ise Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşceresi bulunmaktadır.

Çizelge 2.1. Seben meteoroloji istasyonu bazı iklim verileri (DMİ, 2019).

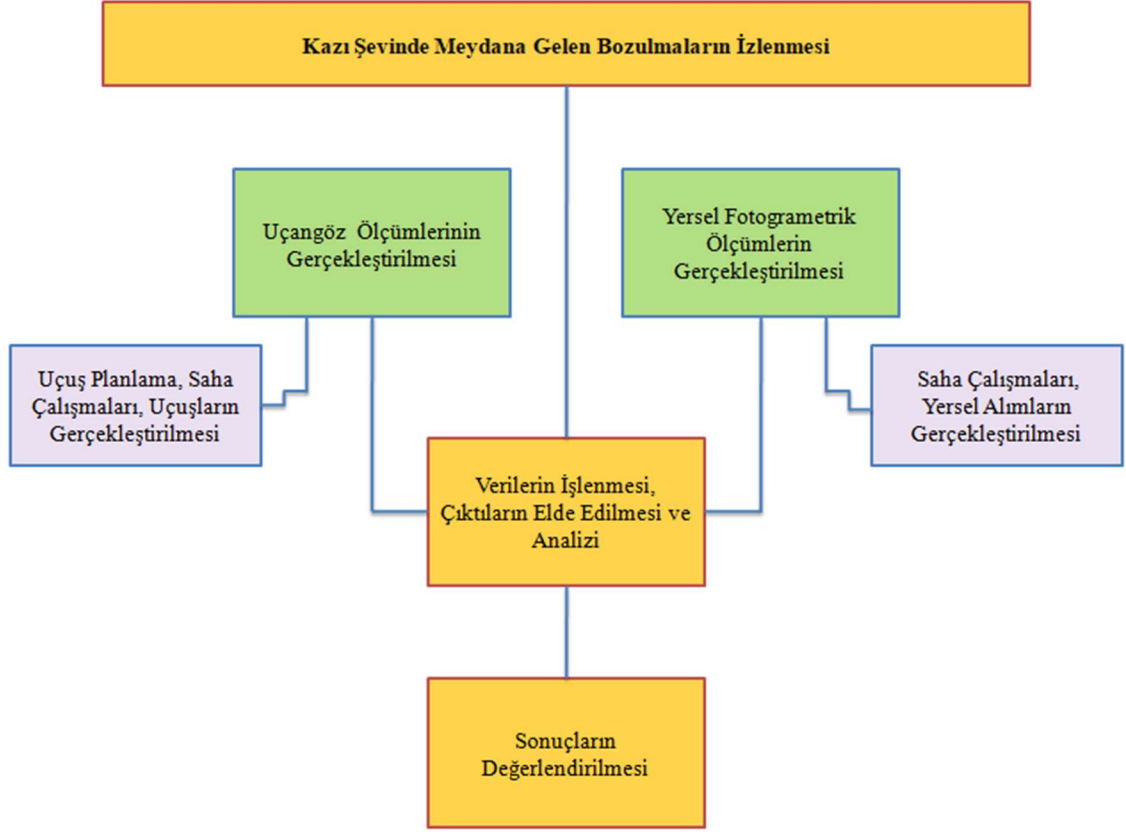
| Meteorolojik Elemanlar (*) | A Y L A R |       |       |       |       |         |        |         |       |       |       |        |        |
|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|
|                            | Ocak      | Şubat | Mart  | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim  | Kasım | Aralık | Yıllık |
| Ort. Yağ.(mm)              | 64,58     | 41,71 | 45,58 | 39,71 | 50,93 | 48,29   | 7,64   | 15,29   | 14,78 | 50,16 | 20,89 | 39,13  | 438,7  |
| Ort. Sic. (°C)             | 0,5       | 3,4   | 6     | 10,7  | 15,2  | 19,2    | 22,7   | 22,5    | 18,7  | 12,5  | 7,3   | 2,2    | 11,7   |
| Ort. Max. Sic.(°C)         | 4,8       | 8,9   | 12,2  | 17,9  | 22,3  | 26,6    | 30,7   | 30,9    | 27,1  | 19,7  | 13,8  | 7      | 18,5   |
| Ort. Min. Sic.(°C)         | -2,6      | -0,7  | 1     | 4,4   | 8,8   | 12,4    | 15,2   | 15,1    | 11,6  | 6,8   | 2,4   | -1,2   | 6,1    |
| Gün. Max. Yağ. (mm)        | 24        | 22,8  | 27    | 22,2  | 25    | 30,2    | 13,2   | 22,6    | 20,8  | 52,8  | 25,8  | 17     | 52,8   |



Şekil 2.3. Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği Meşcere haritası.

#### 2.1.1.4. İş Akış Şeması

Çalışma alanında kazı şevinde meydana gelen bozulmaların izlenmesiyle ilgili iş akış şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. İş Akış Şeması.

## 2.2. YÖNTEM

### 2.2.1. İHA Sistemi ve Yersel Fotogrametrik Yöntemle Sayısal Görüntülerin Alınması

#### 2.2.1.1. İHA ile sayısal görüntülerin alınması

Tez kapsamında çalışmaya konu yolun 100 metrelik kısmındaki kazı şevinde meydana gelen deformasyonun (erozyon-birikme) İHA ve yersel fotogrametrik yöntemlerle Mayıs 2020 ve Kasım 2020 aylarındaki sonuçlar incelenmiştir. İHA ile görüntü alma işlemleri sırasıyla yapılmış olup; i) arazi öncesi hazırlık, ii) arazi çalışması iii) uçuşun gerçekleştirilmesi ve iv) uçuş sonrası işlemler biçimindedir. Verilerin işlenmesi, görselleştirilmesi ve analizlerinin yapılmasında kullanılan dizüstü bilgisayara ait teknik özellikler Çizelge 2.2.'de verilmiştir. Arazi öncesi hazırlık safhasında, çalışmanın

yapılacağı alana hareket etmeden önce hava koşulları (yağış, rüzgâr) ve ilgili alanın topografyası gibi gerekli ön bilgiler elde edilmelidir. İHA ile uçuşun gerçekleştirilmesinde en uygun hava koşulları rüzgâr ve yağışın olmadığı, bulutlu bir gökyüzü olarak ifade edilmektedir (Lindner ve diğ., 2015; Turk ve diğ., 2018). İHA ile kazı şevinde topografyaya adaptif olarak otonom uçuşlar gerçekleştirilmiş, görüntülerin ön ve yan bindirme oranları%90 oranında ayarlanmıştır. Uçuş rotası kazı şevini karşıdan görecektir ve 33° kamera açısı verilerek daha yüksekten uçulması sonucu, topografyaya adaptif olarak uçan İHA' nın yolun alt kısmında bulunan meşceredeki yüksek boylu ağaçların kameranın kadrajına girmesinin önüne geçilmiştir.

Çizelge 2.2. Veri işleme, görselleştirme ve analizlerde kullanılan dizüstü bilgisayara ait teknik özellikler.

|                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| İşlemci              | INTEL Core™i5         |
| İşlemci Modeli       | Inter Core i5-7200U   |
| Çekirdek Sayısı      | Çift Çekirdek İşlemci |
| İşletim Sistemi      | FreeDOS               |
| Sistem Belleği       | 4 GB                  |
| Kapasite             | 1 TB                  |
| Ekran Kartı Hafızası | 2 GB Paylaşımsız      |
| Ekran Kartı          | NVIDIA® GeForce® 920M |
| Ekran Özelliği       | 15.6"                 |
| Ekran                | LED HD                |
| Ekran Çözünürlüğü    | 1366 X 768            |

Arazi çalışmalarının temel adımları olan İHA platformu uçuşu ve yersel fotogrametrik alımların gerçekleştirilmesinden önce kazı şevi üzerine fotoğraflarda belirgin olarak görülebilecek şekilde 23 adet yer kontrol noktası (YKN) aplike edilmiştir(Şekil 2.4). YKN'lerin alana yerleştirilmesi aşamasında, Şekil 2.5.'te gösterilen boyut ve renklerde üretilen yapay YKN'ler kullanılmıştır. Bunun yanı sıra doğal hedeflerde (kaya, ağaç kökü vb.) YKN olarak fotoğraflarda kolay tespit edilebilmesi için kırmızı sprej boya ile işaretlenip kullanılmıştır. Yol platformu üzerine kırmızı sprej boya ile aplike edilen her bir YKN'nin TUREF TM33 koordinat sisteminde X, Y ve Z koordinatları (Çizelge 2.3) SATLAB SL600 6G RTK-GNSS (Global Navigation Satellite System) alıcısı ile 1-2 cm doğruluklarda ölçülmüş, X, Y ve Z konum bilgileri elde edilmiştir.



Şekil 2.5. YKN'nin alana apliedilmesi ve RTK-GNSS alıcı ile koordinatlarının ölçülmesi.



Şekil 2.6. Çalışmada kullanılan yapay YKN (20x10 cm) örnekleri.

Çizelge 2.3. YKN olarak kullanılan koordinatları.

| No | X           | Y            | Z         |
|----|-------------|--------------|-----------|
| 1  | 383811.8692 | 4492480.1094 | 1422.1485 |
| 2  | 383818.2244 | 4492470.8929 | 1422.8568 |
| 3  | 383823.4649 | 4492462.2256 | 1423.0639 |
| 4  | 383830.5675 | 4492451.2743 | 1423.5479 |
| 5  | 383835.0602 | 4492442.3565 | 1424.0717 |
| 6  | 383839.2061 | 4492432.6058 | 1424.6952 |
| 7  | 383843.1345 | 4492421.8788 | 1425.1583 |
| 8  | 383847.8492 | 4492411.3046 | 1425.5188 |
| 9  | 383853.0973 | 4492401.6340 | 1425.7761 |
| 10 | 383857.9656 | 4492391.8323 | 1426.2331 |
| 11 | 383863.5061 | 4492380.4896 | 1426.6976 |
| 12 | 383868.3209 | 4492371.2424 | 1427.1269 |
| 13 | 383836.3224 | 4492443.6702 | 1426.6979 |
| 14 | 383841.3687 | 4492432.5386 | 1427.6617 |
| 15 | 383843.7485 | 4492425.7524 | 1427.8757 |
| 16 | 383846.3984 | 4492419.2248 | 1428.4650 |
| 17 | 383850.6186 | 4492410.5488 | 1428.5555 |
| 18 | 383855.1039 | 4492404.8379 | 1429.3544 |
| 19 | 383855.1566 | 4492401.0875 | 1428.8132 |
| 20 | 383858.0628 | 4492396.1138 | 1429.2707 |
| 21 | 383861.1608 | 4492391.6242 | 1429.1814 |
| 22 | 383866.5063 | 4492379.9108 | 1429.9207 |
| 23 | 383870.3679 | 4492370.7375 | 1430.1452 |

YKN ölçümlerini takiben saha üzerinde İHA ile uçuş gerçekleştirilmiştir. İHA platformunda uçuşlar otonom olarak yapmıştır. Alınacak görüntülerin ön ve yan bindirme oranlarını %90 olarak ayarlanmıştır. Uçuşların gerçekleştirilmesi aşamasında DJI Phantom 4 RTK model İHA platformunun kullanılmıştır (Şekil 2.6). DJI Phantom 4 RTK sistemi üzerinde 1 inçlik 20 megapiksel çözünürlüğünde CMOS sensör bulunmaktadır. İHA sistemi üzerinde yüksek konum doğruluğu sağlayan çok frekanslı bir RTK/PPK veri alımına izin veren küresel navigasyon uydu sistemi GNSS) alıcısına sahiptir. Platform uçuş planlama işlemi DJI Phantom 4 RTK sisteminin kumandasından DJI GS RTK uygulaması ile oluşturulmuştur. Öncesinde Global Mapper yazılımında oluşturulan sahanın SYM verisi (SRTM DEM 30 m konumsal çözünürlüklü) ve uçuş yapılan alanın sınırlarını kapsayan bir vektör veri (KML formatında) SD kart ile kumandaya aktarılmıştır. Daha sonra bu veriler kullanılarak alanın büyüklüğü ve İHA' nın batarya kapasitesine bağlı olarak süre dikkate alınarak %90 ön ve yan bindirme oranları ile

topografyadan 65 m yükseklikten topografyaya adaptif olarak uçuş yapacak şekilde planlama gerçekleştirilmiştir. Yapılan uçuşta 33°oblik (eğik) açıda fotoğraf alımı yapılarak fotoğrafların merkez noktası ile kazı şevi yüzeyi birbirine dik (90°) görecek şekilde ayarlanmıştır. Kazı şevi üzerinde uçuşlar sabit 0,9-1,2 cm yersel çözünürlüklü olarak görüntü alımına imkân verecek şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.7. DJI Phantom 4 RTK model İHA ve uzaktan kumandası.

#### 2.2.1.2. Yersel Fotogrametrik Alım

Yersel Fotogrametrik alımda jalon üzerine monte edilen fotoğraf makinesi ile cep telefonuna indirilen android yazılım sayesinde bağlantı kurularak yolun kazı şevine ait fotoğraf alımları yapılmıştır. Kamera silindirik düzece sahip jalon üzerine açılı tripod başlığı ile monte edilerek, kazı şevi yüzeyini 90°'lik bir açıyla görecek şekilde objektif düzleminin düşeyde yere 33°olarak ayarlanmıştır. Tripod üzerine yatay ve düşey konum ayarlamaları için silindirik düzeç ile hassas ayarlı fotoğraflar çekilmiştir. Algılayıcı olarak GoPro Hero5 Black 12MP Full HD dijital kamera fotoğraf çekimleri için kullanılmıştır (Şekil 2.7). Fotoğraf çekimlerinde ön ve yan bindirmeler yaklaşık olarak % 60 - % 80 aralığında yapılmıştır. Fotoğraflar kazı şevine yaklaşık 3,5 m mesafeden yapılmıştır. Jalon üzerindeki monte edilen açılı başlık ve dijital kamera ile ilk olarak yol yüzeyinde belirlenen noktalardan 2,50 m yükseklikten fotoğraf alımları yapılmıştır. Bu işlemin devamında jalon yüksekliği 4m' ye çıkarılarak aynı noktalardan tekrar fotoğraf alımları yapılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Açılı tripod başlığı ve GoPro Hero 5 Black marka dijital kamera.



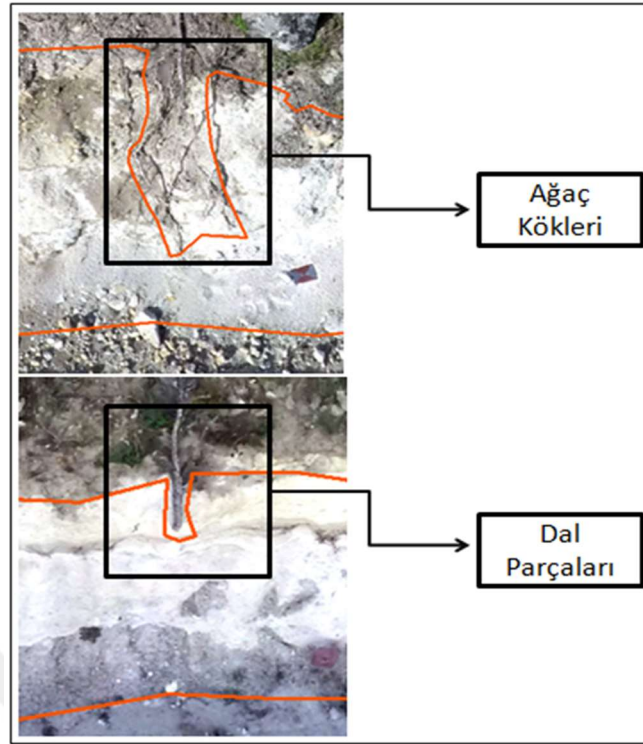
Şekil 2.9. Yersel fotogrametrik alımlar.

### 2.2.2. İHA ve Yersel Fotogrametrik Yöntemlerin Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında İHA ve yersel alımların kapsadığı dönem 20.05.2020 ile 22.11.2020 tarihleri arası olup toplamda 2 uçuş ve 2 yersel alım yapılmıştır. İHA ve yersel fotogrametrik yöntemler; veri alımından önce başlayarak, veri alım süreci, verinin fotogrametrik olarak işlenmesi sonucu elde edilen çıktıların çözünürlük, hassasiyet, doğruluk ile veri boyutu gibi özellikleri açısından ve zaman bakımından avantaj ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Ayrıca uçuşlarda ve yersel alımlarda kullanılan cihazların maliyet karşılaştırması da yapılmıştır.

### 2.2.3. Kazı Şevi Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi

Öncelikle kazı şevinin olağan deformasyon süreçleri haricinde dışarıdan bir şekilde gelen dal ve ağaç kök parçaları mevcudiyeti gözlemlendiği için bu kısımlar hesaplamalarda kullanılmamıştır (Şekil 2.9). Çalışmaya konu kazı şevi yüzey alanı 225,21 m<sup>2</sup> iken dış etkenlerin arındırılmasıyla çalışma alanı 221,82 m<sup>2</sup> ye düşmüştür.

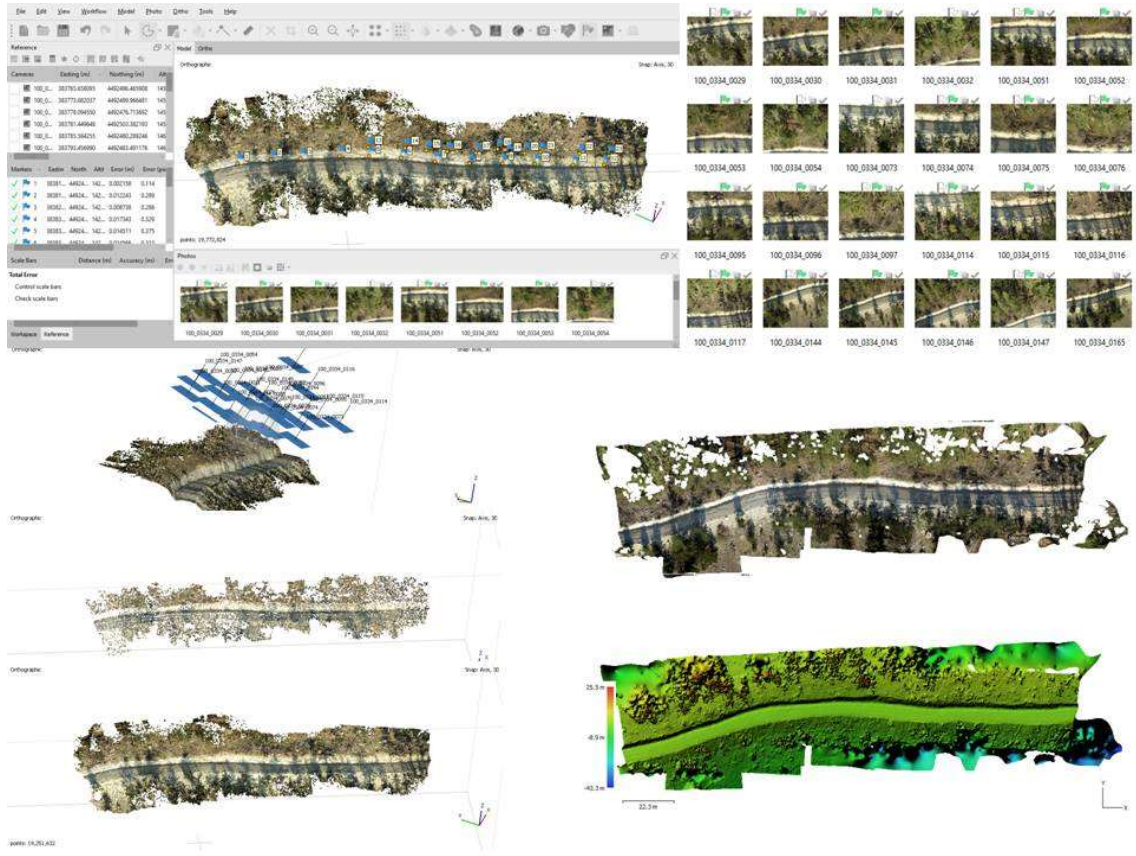


Şekil 2.10. Dış etkenler (ağaç kökleri ve dal parçaları).

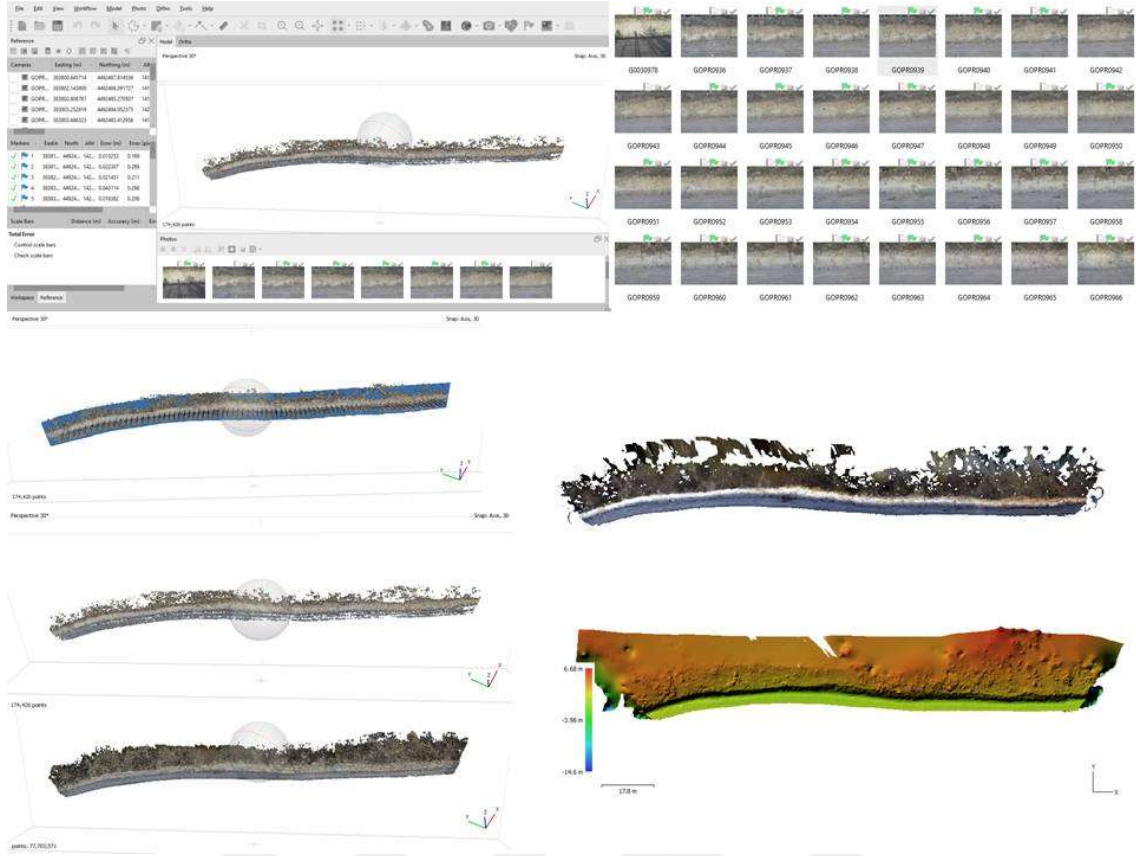
Deformasyon hacminin ve alanının belirlenmesi için Python programlama dili ile ArcGIS yazılımı ArcMap modülü içerisine bir araç kutusu şeklinde bir eklenti kullanılmıştır (Türk ve diğ., 2022). Algoritma SYM fark verilerinden pozitif fark değerlerine sahip bütün pikseller üzerinden biriken hacim ve alanı, negatif değerleri bütün pikseller üzerinden aşınan hacim ve alanı hesaplamaktadır. Algoritma hacim ve alan bilgisini çalışma alanı (workspace) olarak tanımlanan konumda metin dosyası (.txt uzantılı) olarak kayıt etmektedir. Ayrıca ArcGIS yazılımı ile deformasyonların olduğu kısımlar ayrı ayrı sekmeler halinde sınıflandırılmıştır. Böylece meydana gelen deformasyon hem alansal hem de hacimsel görselleştirme sunacak şekilde haritalar oluşturulmuştur.

İHA ve yersel fotogrametrik yöntemler kullanılarak elde edilen görüntüler işlenerek yüksek çözünürlükte ve doğrulukta nokta bulutu, SYM ve ortofoto görüntüsü üretilmesinde Agisoft Metashape Professional Version 1.7.6 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 2.10. ve Şekil 2.11.). Yazılım Windows 10 64-bit İşletim Sistemi üzerinde çalıştırılmıştır. Görüntü yöneltme işlemi doğruluk seviyesi orta (medium) olarak ayarlanırken, diğer derinlik haritaları üretimi (depth maps), yoğun nokta bulutu (dense cloud) üretimi aşamalarında kalite ayarları yüksek (high) olarak seçilmiştir. RTK modda uçuşlar gerçekleştirilerek görüntü alımı yapıldığı için görüntü optimizasyonunda YKN tanımlanmamıştır. YKN'ler sadece modelin coğrafi referanslanması hatasının temin

edilmesinde kontrol noktası olarak kullanılmıştır. Yersel çalışmada ise görüntü optimizasyonunda YKN tanımlanmış, dijital kamera Linear Mode ile 1080p çözünürlüğünde fotoğraf alımları yapılmıştır. Görüntülerin fotogrametrik analizi sonucu üretilen çıktılar “.las” formatında yoğun nokta bulutu verisi, “tiff” formatında SYM ve ortomozaiklerdir. Daha sonra analizlerde alansal tutarlılık sağlanması için “shp” formatında çalışma alanını temsil eden bir vektör veri kullanılarak bütün SYM ve ortomozaikler İHA için 0,9 cm, GoPro için 0,25 cm pixelsize boyutlarında dışa aktarma (export) edilmiştir.

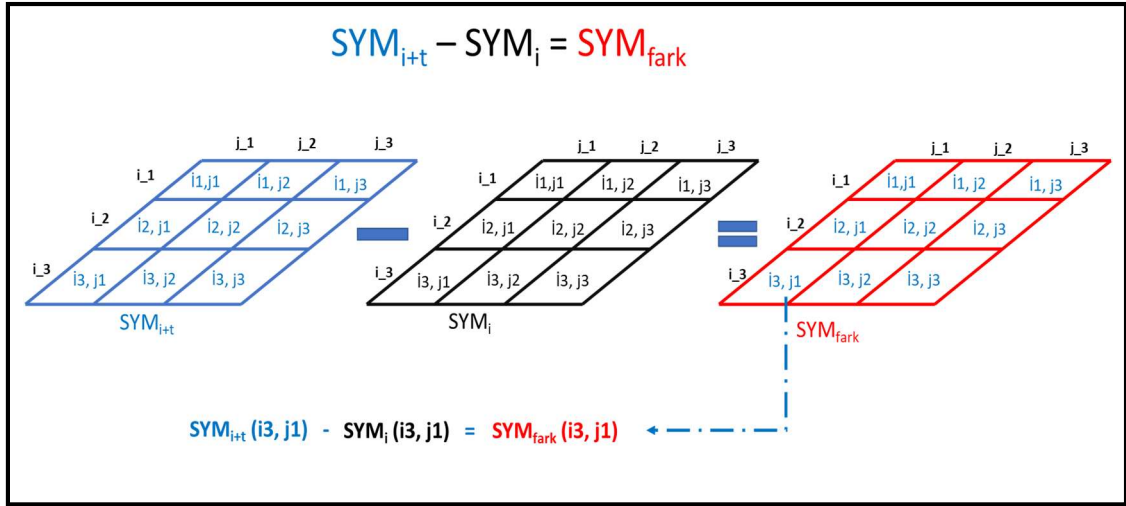


Şekil 2.11. Agisoft Metashape Professional Version 1.7.6 yazılımında verilerin işlenmesi (İHA).

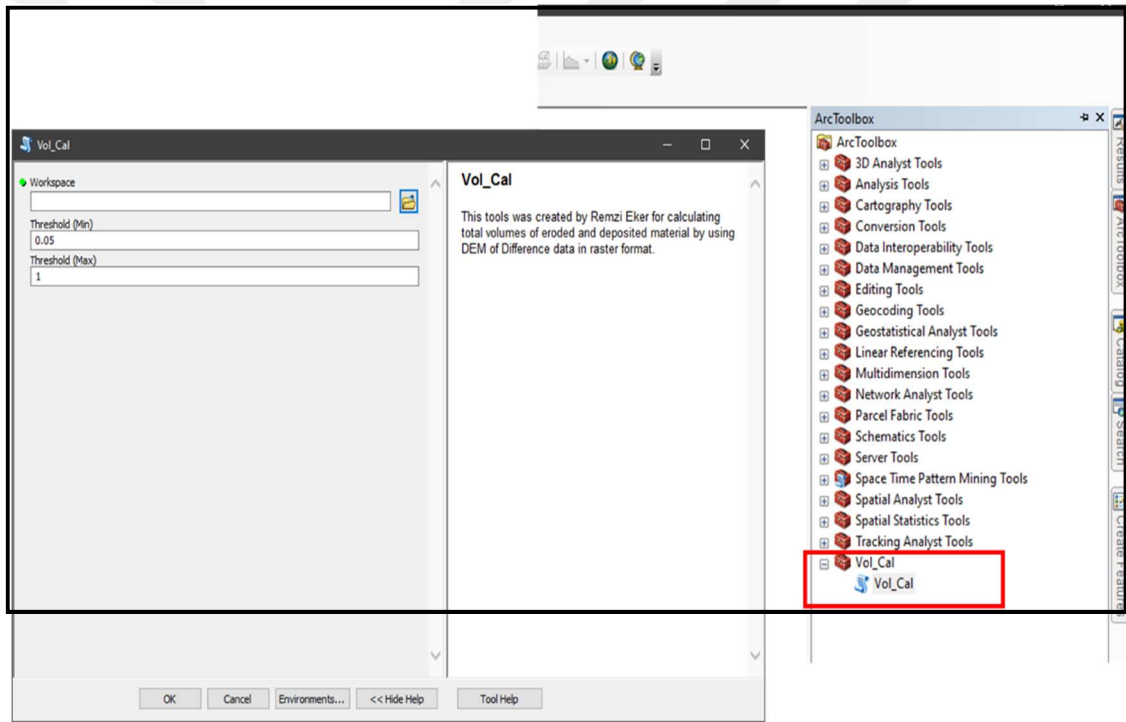


Şekil 2.12. Agisoft Metashape Professional Version 1.7.6 yazılımında verilerin işlenmesi (Yersel Fotoğraflama).

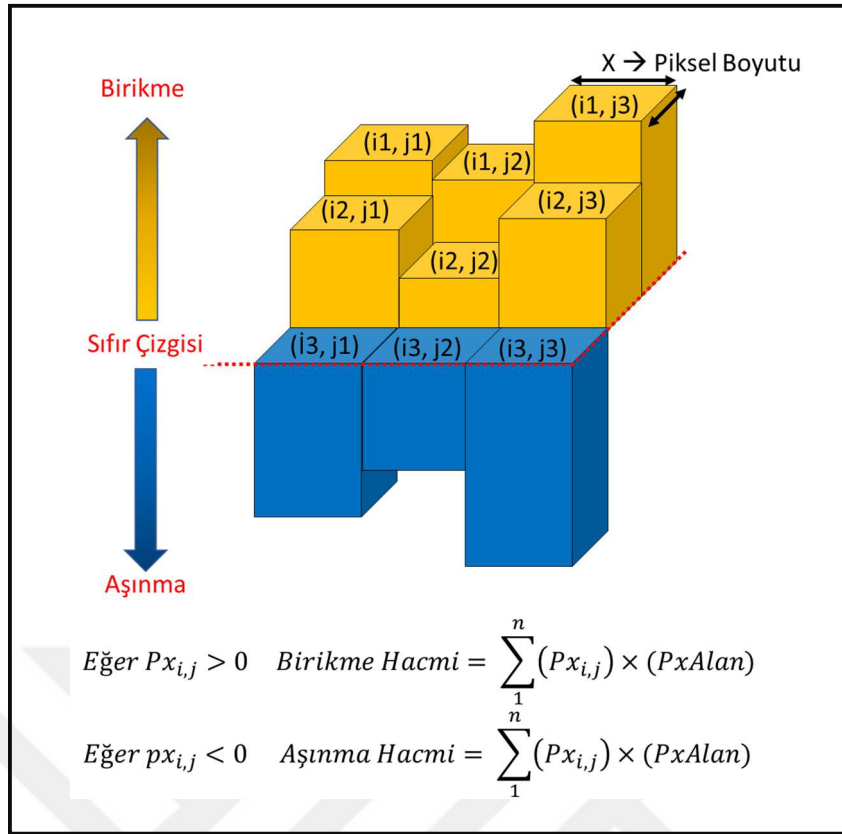
İHA ve yersel fotogrametrik yöntemler kullanılarak, kazı şevlerinde erozyon ile meydana gelen aşınma ve birikmenin fark SYM verilerinden yararlanılarak hacimsel ve alansal olarak belirlenmesine yönelik analizler yapılmıştır. Raster formatındaki SYM verilerini oluşturan her bir piksel değerinin zaman serisindeki diğer SYM’ lerde bulunan piksellerle örtüşen (üst üste binen) piksel değerinin farklarının alınması şeklinde uygulanmaktadır. SYM farkları 20 Mayıs 2020 tarihli ilk uçuş verisi baz alınarak 22 Kasım 2020 tarihinde yapılan uçuşundan elde edilen ortalama Z değeri farkları alınmıştır. Bu işlem sonucu üretilen Fark SYM verilerinden (Şekil 2.12) poligon sınırları kesilip çıkarılmıştır (Türk ve diğ., 2022). Hacim ve alanın belirlenmesi için Python programlama dili ile ArcGIS yazılımı ArcMap modülü içerisine araç kutusu şeklinde bir eklenti kullanılmıştır (Şekil 2.13). Algoritma fark verilerinden Şekil 2.14.’te gösterildiği gibi pozitif fark değerlerine sahip bütün pikseller üzerinden biriken hacim ve alanı, negatif değerleri bütün pikseller üzerinden aşınan hacim ve alanı hesaplamaktadır. Algoritma hacim ve alan bilgisini çalışma alanı (workspace) olarak tanımlanan konumda metin dosyası (.txt uzantılı) olarak kayıt etmektedir (Şekil 2.15).



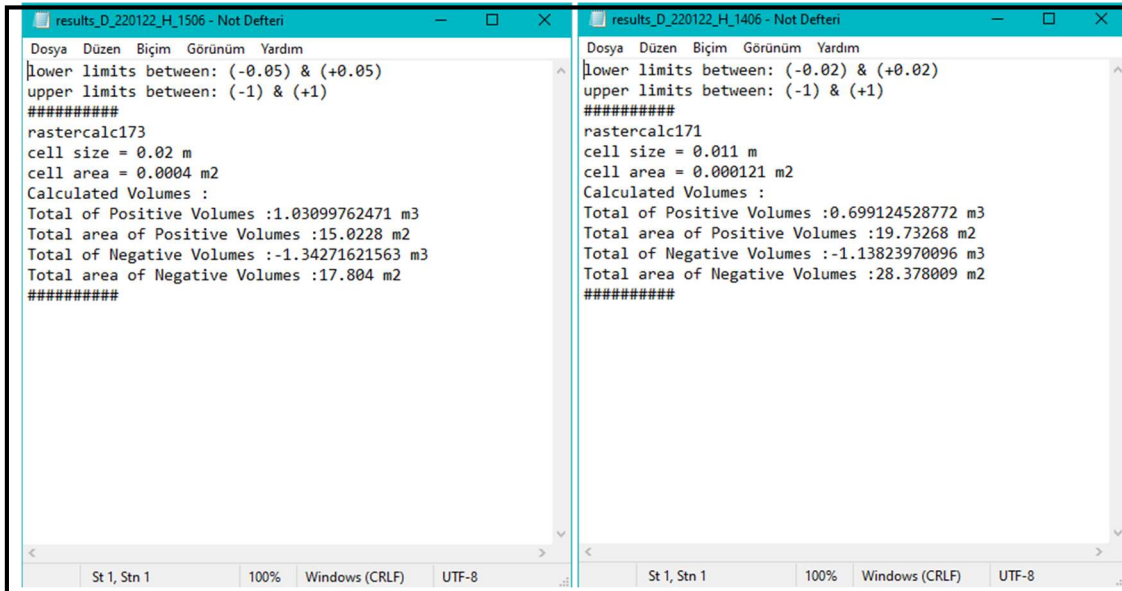
Şekil 2.13. Fark SYM verisi üretimi.



Şekil 2.14. ArcGIS ArcMap için kullanılan araç kutusu.



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



Şekil 2.16. Geliştirilen araç kutusu çıktısı olan metin dosyası örnek görüntüsü.

#### 2.2.4. Kullanılan İstatistik Yöntemler

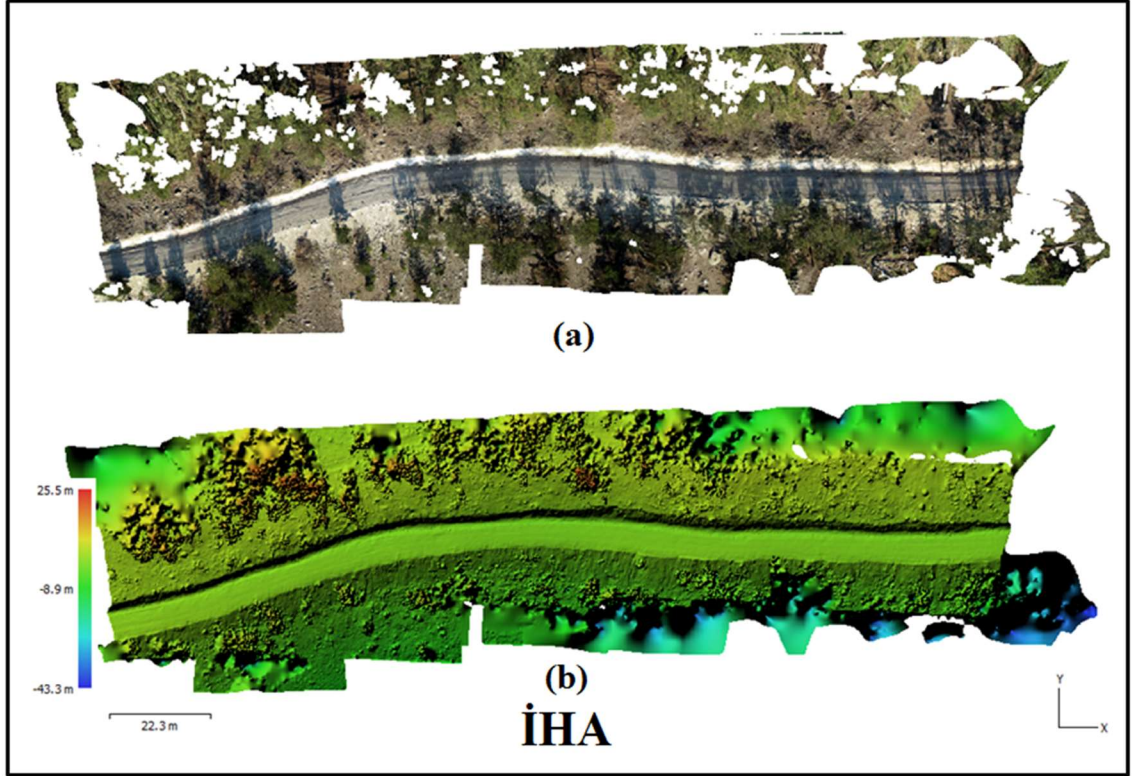
Verilerin normal dağılıp dağılmadıkları Kolmogorov Simirnov normal dağılım testi ile araştırılmıştır. Veriler normal dağılım göstermediği için karekök dönüşümü uygulanarak normal dağılımları sağlanmıştır. İHA ve yersel fotogrametrik yöntemlerin zaman serileri YKN Z farkları araştırılmıştır. Bu çalışmada kazı şevi yüzeyine sabitlenen metal YKN plakalar ve doğada sabit bulunan (ağaç kökü, kaya) gibi YKN noktalarının Z değerlerinden yararlanılmıştır. İHA ve yersel fotogrametrik yöntem kullanılarak üretilmiş SYM'lerinde sabit halde bulunan YKN noktalarının her iki yöntemin kendi içinde SYM'lerindeki farklarına bakılarak, iki yöntemin hata miktarı incelenmiştir. 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 o ortalamalı toplumun rastgele örnekler olup olmadığını test etmek için bağımlı iki örnek t-testi uygulanır (Özdamar, 2004).



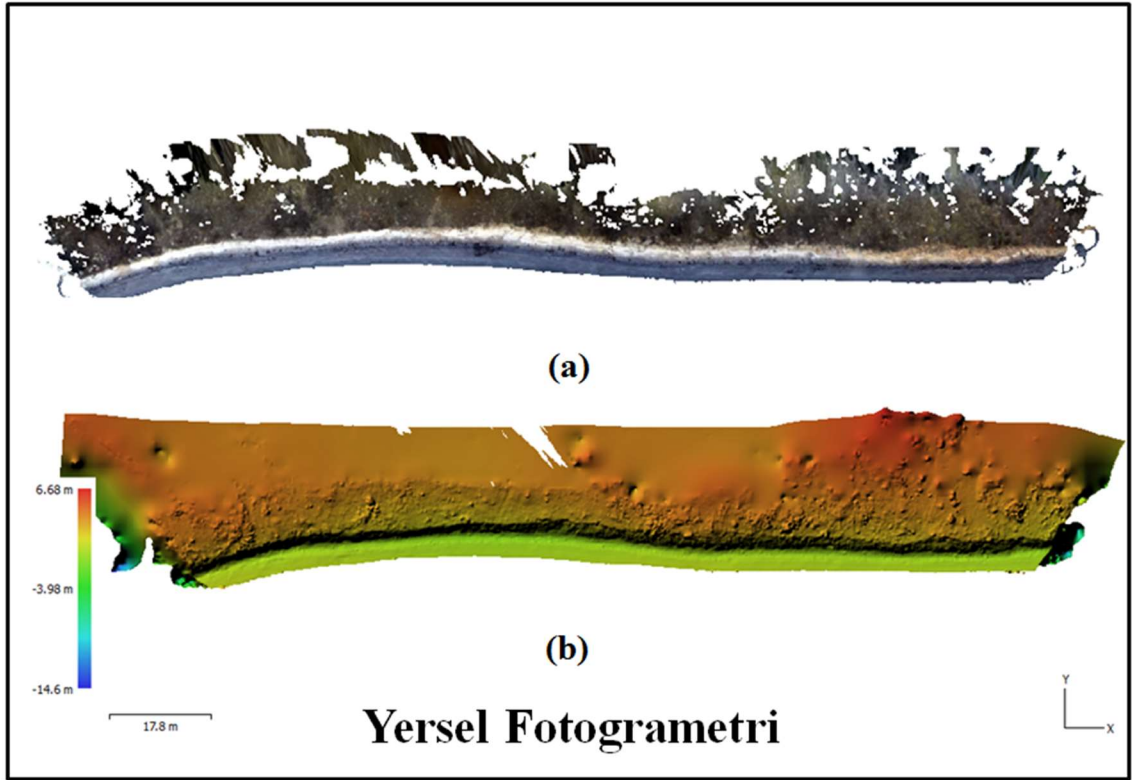
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. KAZI ŞEVİ ÖZELLİKLERİ VE KAZI ŞEVİNİN SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNE AİT BULGULAR

Çalışmaya konu kazı şevinin ortalama yüksekliği 2,09 m, uzunluğu 2,34 m ve eğimi %67 bulunmuştur. Çalışma alanında yaklaşık Mayıs 2020 – Kasım 2020 zaman aralığına ait kazı şevindeki bozulmalar izlenmiş, elde edilen görüntüler coğrafi olarak referanslanması yapılarak SfM algoritması ile nokta bulutu oluşturulmuş, daha sonra kazı şevine ait SYM ve ortofoto üretimi yapılmıştır (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Kazı şevinin SYM’lerinde en düşük arazi rakımı 1422 m ve en yüksek arazi rakımı ise 1427 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanına ait İHA ortofoto verileri (a) ve SYM verileri (b).



Şekil 3.2. Çalışma alanına ait yersel fotogrametri ortofoto verileri (a) SYM verileri (b).

### 3.2. İHA VE YERSEL FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASINA AİT BULGUAR

Kazı şevi deformasyon çalışmalarında İHA ve yersel fotogrametrinin avantaj ve dezavantajları açısından karşılaştırılması, öncelikle veri alım süreçleri kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda çalışma alanına gidilmeden önce ofiste çalışma alanıyla ilgili olarak uçuş planlama işlemi DJI Phantom 4 RTK sisteminin kumandasından DJI GS RTK uygulaması ile oluşturulmuş olup bu işlemler yaklaşık 15 dk sürmüştür. İHA'nın çalışma alanında kurulumu ve uçuş işlemlerini tamamlayıp geri dönmesi yaklaşık 18 dk'dır. Uçuş sonrası elde edilen fotoğrafların bilgisayar ortamında işlenip SYM ve Ortofoto üretilmesi yaklaşık 60 dk sürmüştür.

Yersel fotogrametri ölçümde ise saha öncesi hazırlık yapılmamıştır. Yersel fotoğraflar yaklaşık 60 dk'da çekilmiştir. Yersel fotoğrafların bilgisayar ortamında işlenip SYM ve ortofoto üretilmesi yaklaşık 130 dk sürmüştür. Bu süreler özelliklerine göre farklı bilgisayarlarda farklılık göstermektedir. Zaman karşılaştırması yapıldığında; İHA ile işlemler ortalama 93 dk tamamlanırken, yersel fotogrametri yöntemiyle bu süre ortalama 190 dk tamamlanmıştır. Bu sonuçlara göre yersel fotogrametri yöntemi İHA'ya göre

yaklaşık 2 kat daha uzun sürmüştür.

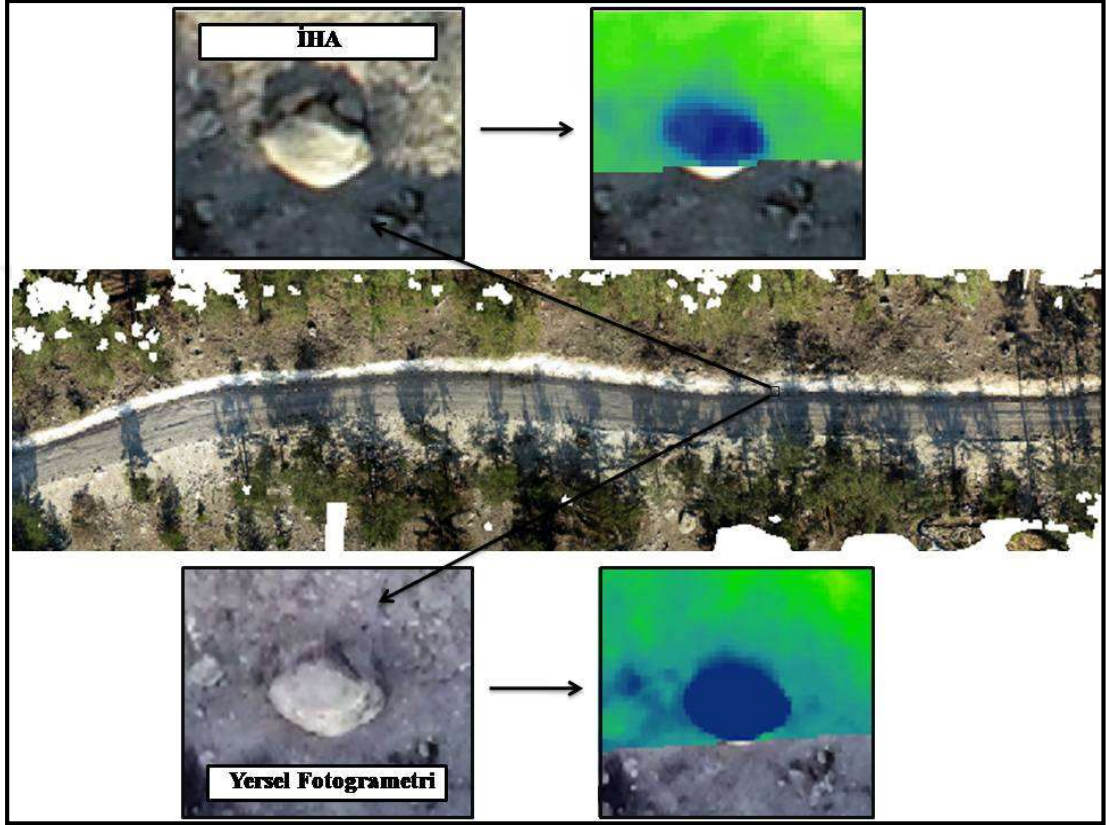
İHA ile çalışma alanına gidilmeden önce hava koşullarının rüzgâr ve yağış bakımından uygun olması gerekmektedir. Bu durum periyodik olarak yapılacak ve önceden belirlenmiş olan tarihlerin aksamasına neden olabilmektedir. Yersel fotogrametride ise hava koşulları özellikle rüzgâr şiddeti bakımından İHA'ya nazaran daha az etkilemektedir.

İHA ile uçuşlar 65 m yükseklikten, ön ve yan bindirme oranı %90 olarak fotoğraf alımları yapılmıştır. Yersel fotogrametride ise kazı şevine yaklaşık 3,5 m uzaklıktan, % 60-80 aralığında ön ve yan bindirme ile fotoğraf alımları yapılmıştır. İHA ile alınan fotoğraflar da yersel çözünürlük 0,9 – 1,2 cm/piksel aralığındadır. Yersel fotogrametride ise bu 0,25 – 0,30 cm/piksel aralığındadır. Alınan görüntü sayıları bakımından kıyaslandığında, İHA ile uçuşlarda alınan ortalama görüntü sayısı 23 iken, yersel fotogrametride alınan ortalama görüntü sayısı 125 adettir. Buna göre yersel fotogrametride alınan görüntü sayısı İHA uçuşu ile alınan görüntü sayısından 5,4 kat daha fazladır. İHA ve yersel fotogrametriye ait bulgular Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Hem verinin depolanması hem de fotogrametrik işlemede bilgisayar donanımı kısıtları dikkate alındığında yersel fotogrametri için daha fazla görüntü alımına neden olması bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Ancak yer örneklem mesafesi açısından değerlendirildiğinde kazı şevine olan mesafenin azalmasına bağlı olarak görüntüyü oluşturan piksellerin konumsal çözünürlüğü artmış ve daha fazla detay elde edilmesine imkân sağlanmıştır (Şekil 3.3). Örneğin Gülci ve Şireli (2019) yapmış oldukları çalışmada yerselde 20,4 MP çözünürlük özelliğindeki cihazla yaklaşık 3,5 m yükseklikten 0,012 cm/piksel çözünürlükte fotoğraf alımları yaparak iki farklı model üretmişlerdir. Oluşturulan modellerde ortalama 2 cm çözünürlükte SYM modelleri üretilmiş, bu iki modelin SfM Z hata değerini ortalama 2,5 cm olarak modellemişlerdir.

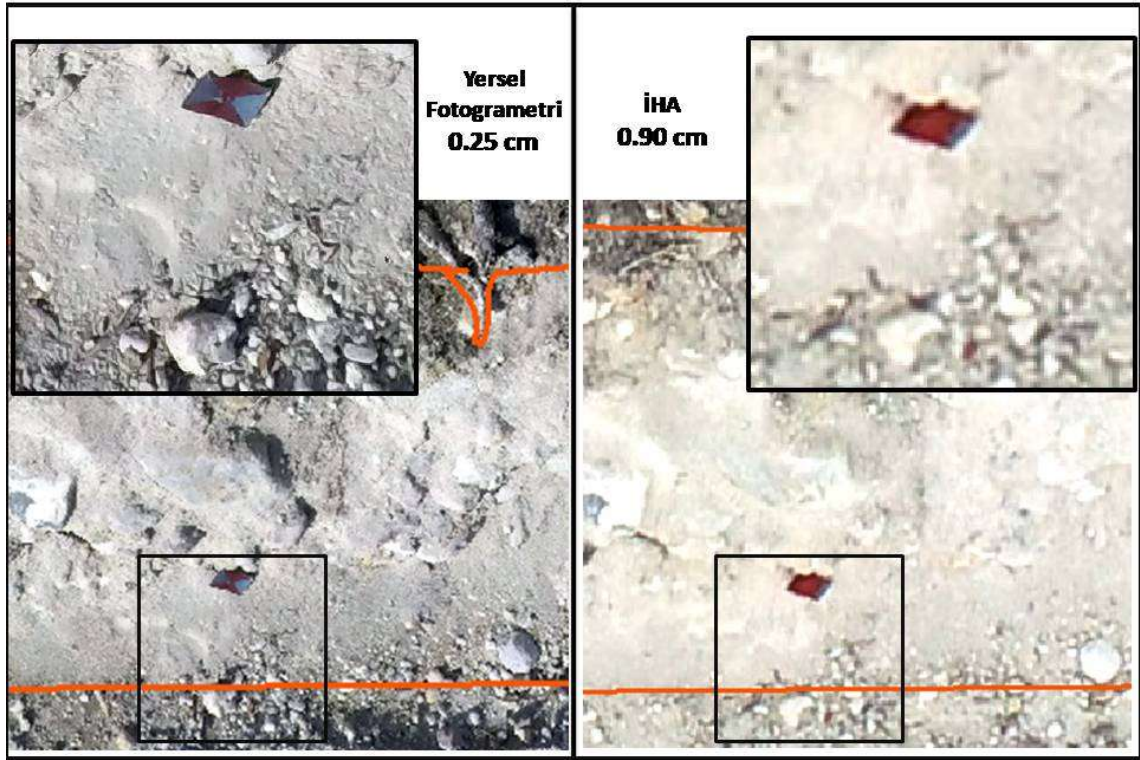
Çizelge 3.1. İHA ve Yersel fotogrametriye ait bulgular.

| Veri Alım Tarihi | Görüntü Sayısı |                     | Uçuş Yüksekliği (m) | Fotoğraf Alım Mesafesi (m) | Yer Örneklem Mesafesi (cm/piksel) |                     | YKN Lokasyon Hatası (Toplam RMSE) (cm) |                     |
|------------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------------------------|---------------------|
|                  | İHA            | Yersel fotogrametri | İHA                 | Yersel fotogrametri        | İHA                               | Yersel fotogrametri | İHA                                    | Yersel fotogrametri |
| 20.05.2020       | 20             | 127                 | 65                  | 3,27                       | 2                                 | 1                   | 1,43                                   | 2,81                |
| 22.11.2020       | 26             | 124                 | 65                  | 3,59                       | 2                                 | 1                   | 1,28                                   | 2,81                |
| Ortalama         | 23             | 125,5               | 65                  | 3,43                       | 2                                 | 1                   | 1,35                                   | 2,81                |

Şekil 3.3 incelendiğinde yersel fotogrametri verisinde hendeğe düşen kaya daha belirgin şekilde fark SYM verisinde gözlenebilmekteyken, İHA verisinde daha az belirgin olarak modellenmektedir. Ayrıca Şekil 3.4 incelendiğinde görüntü ve bulanıklığın İHA ile alınanlarda daha fazla olduğu gözlenmektedir. Yersel alımlar sırasında daha fazla fotoğraf ve netlik elde edilirken, İHA ile daha az fotoğraf ve daha az netlik elde edilmektedir.



Şekil 3.3. İHA ve yersel fotogrametri verilerinden üretilen fark SYM verilerinde yol yüzeyindeki kaya parçasının belirlenmesi durumu.



Şekil 3.4. İHA ve yersel fotogrametri ile alınan görüntülerdeki çözünürlüğe bağlı detaylarda ayırt edilebilirlik.

Bu çalışmada yer örneklem mesafesi sonuçları incelendiğinde, İHA ile alınan görüntülerden üretilen SYM ve ortofotoların ortalama yer örneklem mesafesi 2 cm iken, yersel fotogrametri ile alınan görüntülerde ortalama yer örneklem mesafesi 1 cm'dir. Buna göre yersel alımlar 2 kat daha yüksek çözünürlük imkânı sağlamıştır.

Aynı zamanda maliyet bakımından çalışmada kullanılan DJI Phantom 4 RTK cihazın güncel fiyatı ortalama 6.900 \$ civarındadır. Yersel fotogrametik yöntemde kullanılan GoPro Hero 5 Black cihazının fiyatı ise ortalama 150 \$ civarındadır.

### 3.3. KAZI ŞEVİ YÜZEY DEFORMASYONUNA AİT BULGULAR

Çalışmada Mayıs 2020 ve Kasım 2020 tarihleri arasındaki orman yolu kazı şevlerindeki deformasyonlar belirlenmiştir. Genel olarak deformasyonlar yağmur erozyonu tipleri şeklinde olup küçük çaplı kaymalarda belirlenmiştir (Şekil 3.5). Kazı şevindeki alansal aşınma ve birikme değerleri Çizelge 3.2 'de verilmiştir. İHA'ya ait alansal deformasyon haritası Şekil 3.6'da, yersel fotogrametriye ait alansal deformasyon haritası ise Şekil 3.7 'de gösterilmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde İHA ile yapılan uçuşlardan elde edilen sonuçlara göre Mayıs 2020 – Kasım 2020 tarihleri arasında meydana gelen toplam aşınma

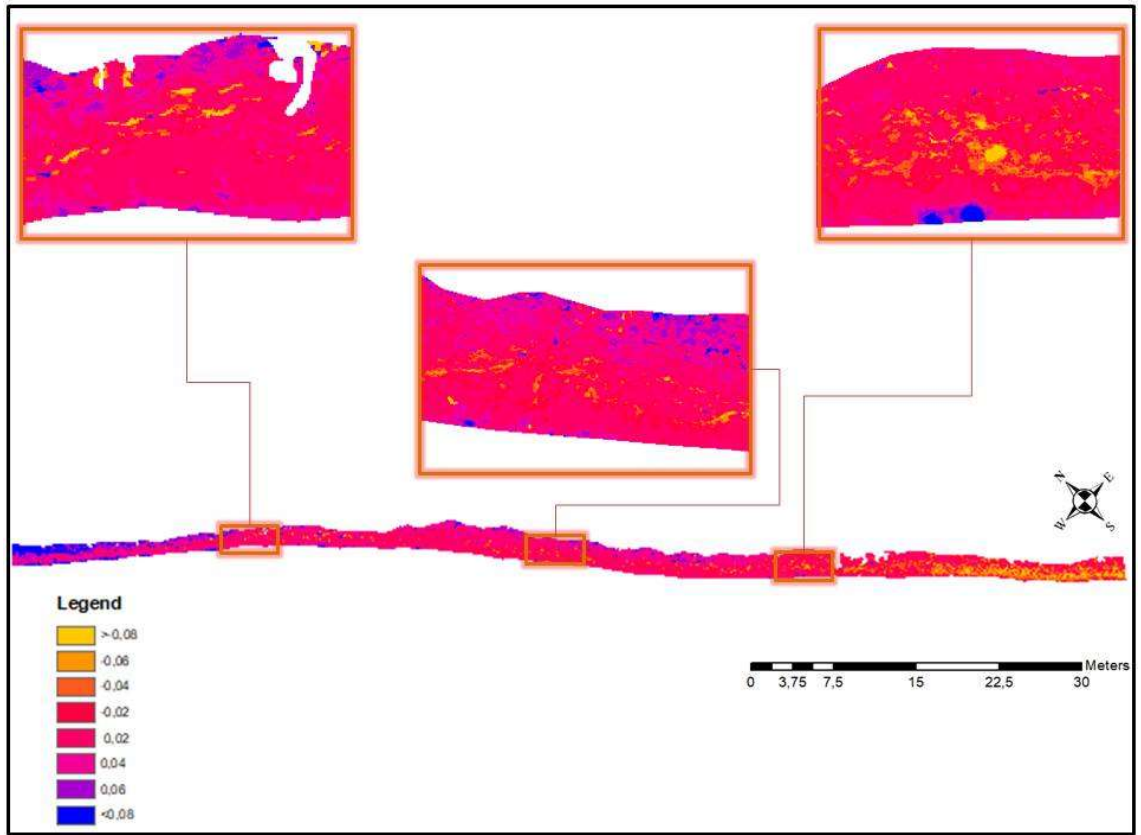
17,80 m<sup>2</sup>'lik (0,080 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>) ve birikme ise 15,02 m<sup>2</sup>'lik (0,067m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>) alanda gerçekleşmiştir. Yerel fotogrametri ile yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlarda göre ise toplam aşınma 28,37 m<sup>2</sup>'lik (0,127 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>) ve birikme ise 19,73 m<sup>2</sup>'lik (0,088 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>) alanda gerçekleşmiştir. Aylık olarak ortalama aşınma 4,73 m<sup>2</sup> ve birikme 3,28 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Her iki yöntemde de aşınma miktarı birikme miktarına göre daha büyük çıkması taşınan sedimentin büyük bir oranının kenar hendeği ile yol platformundan uzaklaşmasından dolayı olabileceği düşünülmektedir.



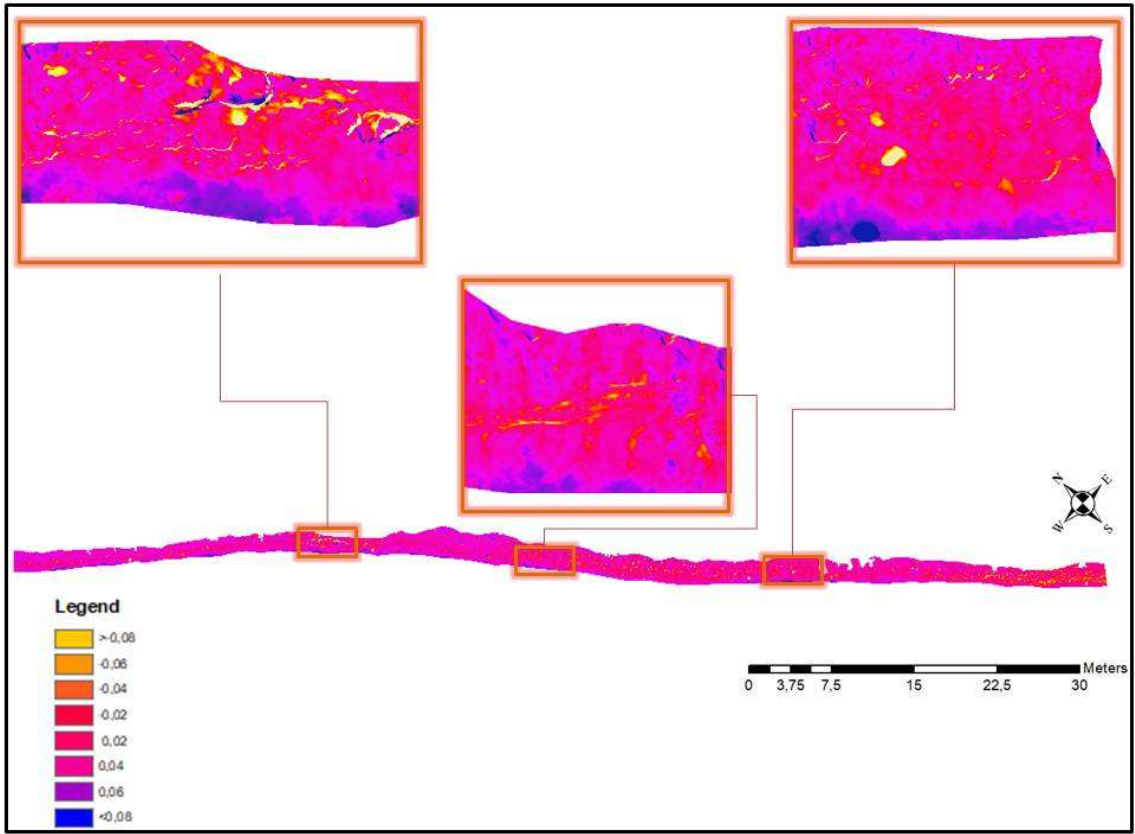
Şekil 3.5. Kazı şevinde meydana gelen deformasyon görüntüleri.

Çizelge 3.2. Çalışma alanı Mayıs 2020 ve Kasım 2020 tarihleri arasındaki alansal aşınma ve birikme miktarı.

| Yöntem | Alansal Erozyon ve Birikme      |                                  |                                                       |                                                        |
|--------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|        | Toplam Aşınma (m <sup>2</sup> ) | Toplam Birikme (m <sup>2</sup> ) | Birim Alanda Aşınma (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ) | Birim Alanda Birikme (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> ) |
| İHA    | 17,80                           | 15,02                            | 0,080                                                 | 0,067                                                  |
| Yersel | 28,37                           | 19,73                            | 0,127                                                 | 0,088                                                  |



Şekil 3.6. İHA'ya ait alansal deformasyon haritası.

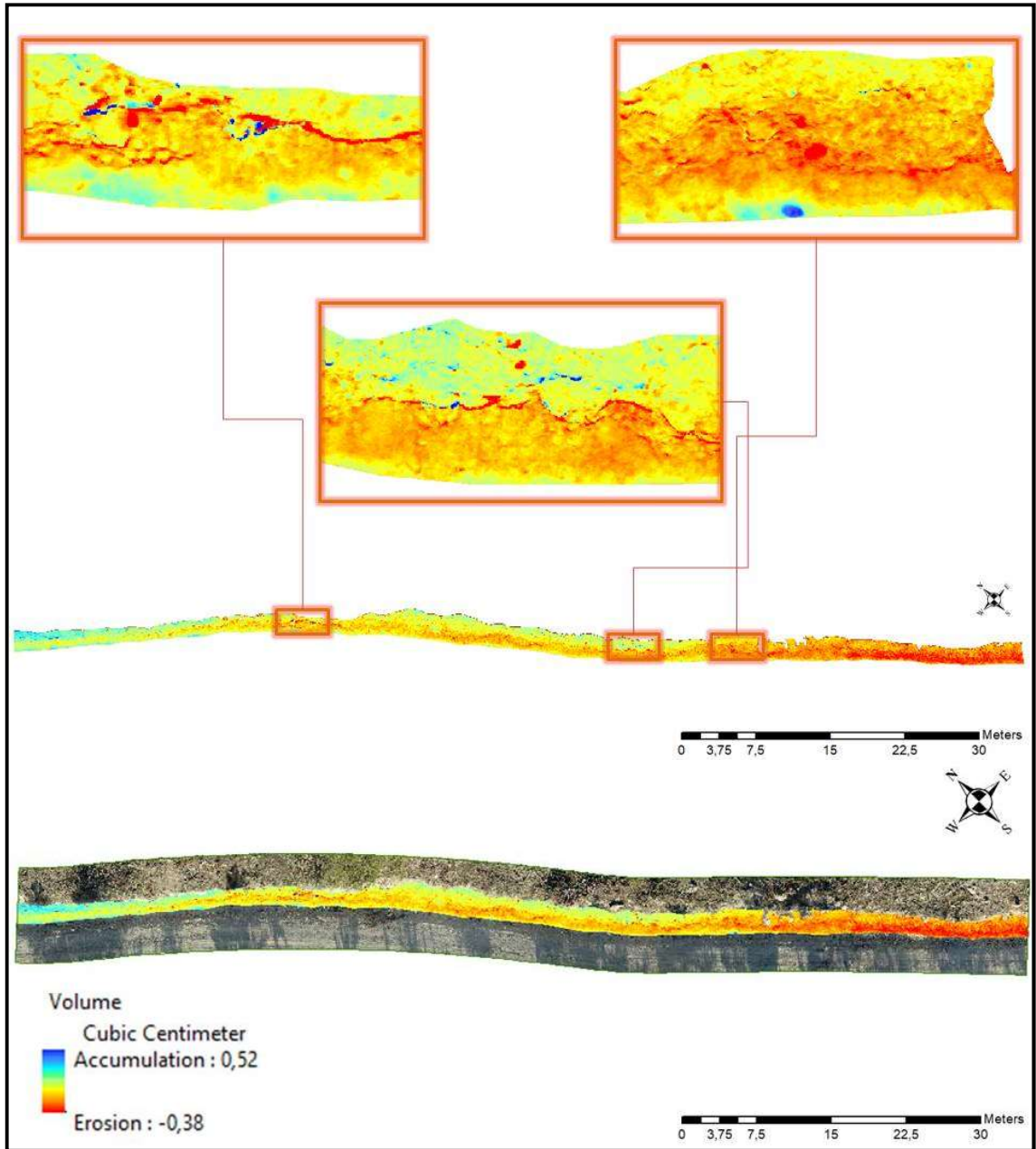


Şekil 3.7. Yersel fotogrametriye ait alansal deformasyon haritası.

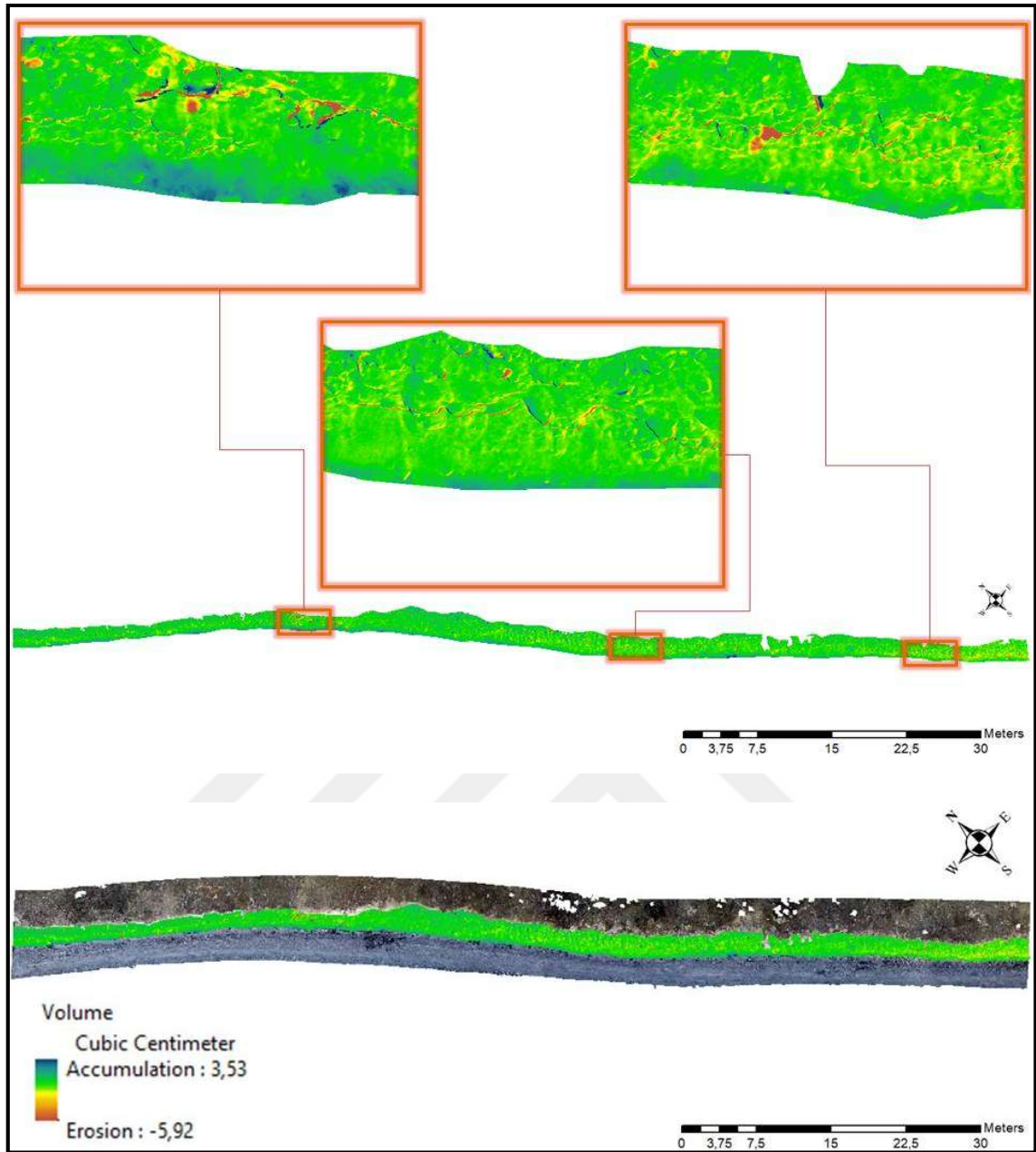
Çalışma alanına ait kazı şevindeki hacimsel aşınma ve birikme değerleri ise Çizelge 3.3 'de verilmiştir. İHA'ya ait hacimsel deformasyon haritası Şekil 3.8'de, yersel fotogrametriye ait hacimsel deformasyon haritası ise Şekil 3.9 'da gösterilmiştir. Çizelge 3.3. incelendiğinde Mayıs 2020 – Kasım 2020 tarihlerinde İHA ile yapılan uçuşlardan elde edilen sonuçlara göre; kazı şevlerinde meydana gelen hacimsel aşınma miktarı  $-1,34 \text{ m}^3$  ( $0,0060 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ ) ve birikme miktarı ise  $1,03 \text{ m}^3$  ( $0,0046 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ ) olarak hesaplanmıştır. Yersel fotogrametrik yöntemle Mayıs 2020 – Kasım 2020 tarihlerinde elde edilen sonuçlara göre; aşınma miktarı  $-1,13 \text{ m}^3$  ( $0,0050 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ ) ve birikme miktarı ise  $0,69 \text{ m}^3$ 'lük ( $0,0031 \text{ m}^3\text{m}^{-2}$ ) olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere ait bilgiler Çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3.Çalışma alanı Mayıs 2020 ve Kasım 2020 tarihleri arasındaki hacimsel aşınma ve birikme miktarı.

| Yöntem | Hacimsel Erozyon ve Birikme     |                                  |                                                       |                                                        |
|--------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|        | Toplam Aşınma (m <sup>3</sup> ) | Toplam Birikme (m <sup>3</sup> ) | Birim Alanda Aşınma (m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) | Birim Alanda Birikme (m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> ) |
| İHA    | -1,34                           | 1,03                             | -0,0060                                               | 0,0046                                                 |
| Yersel | -1,13                           | 0,69                             | -0,0050                                               | 0,0031                                                 |



Şekil 3.8. İHA'ya ait hacimsel bozulmalar haritaları.



Şekil 3.9.Yersel fotogrametriye ait hacimsel bozulmalar haritaları.

Bu tez çalışmasında Mayıs 2020 – Kasım 2020 zaman aralığında elde edilen sonuçlara göre, birim alandaki aşınma miktarı İHA yönteminde  $0,006\text{m}^3\text{m}^{-2}$  ( $15,6\text{ kg m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ) ve yersel fotogrametrik yöntemde ise  $0,005\text{ m}^3\text{m}^{-2}$  ( $13,0\text{ kg m}^{-2}\text{yr}^{-1}$ ) olarak bulunmuştur. Doğal yapı durumunda bulunan bir orman toprağının ortalama hacim ağırlığı  $1,3\text{ g/cm}^3$  ( $1300\text{ kg/m}^3$ ) olarak hesaplanmaktadır (Türüdü, 2004). Orman yolu kazı şevinde sediment kayıpları ile ilgili yapılan farklı yörelerdeki çalışmalarda kazı şevlerinde yıllık  $0,5\text{-}37\text{ kg m}^{-2}\text{yr}^{-1}$  arasında değişen sediment kaybı miktarı belirlenmiştir (Wilson, 1980; Megahan, 1980; Kartaloglu, 2011; Demir, Makineci, Kartaloglu, 2012; Demir, M., Makineci, Kartaloglu, 2013; Erdem ve diğ., 2018). Yıllık birim alandaki değerin ( $0,5\text{-}37$

kg m<sup>-2</sup>yr<sup>-1</sup>) geniş aralıkta olması, çalışma alanlarındaki yolun yaşı, toprak, şev, meteorolojik vb. özelliklerin farklı olmasından dolayıdır. Bu tez çalışmasında yıllık birim alandaki erozyon miktarı her iki yöntemde de yukarıda bahsi geçen değerler arasında bulunmuştur.

### 3.4. İSTATİSTİKİ SONUÇLARA AİT BULGULAR

Veriler normal dağılım göstermediği için karekök dönüşümü uygulanarak normal dağılımları sağlanmıştır. Yapılan istatistiki analiz sonuçlara göre İHA ve Yersel fotogrametrik yöntemlerin zaman serileri YKN Z farkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir ( $p < 0.05$ ) (Çizelge 3.5.). İHA ve yersel fotogrametrizaman serileri YKN Z farkları ortalama değeri arasında yaklaşık 2 cm fark bulunmuştur. Bu fark yersel fotogrametrik verilerde hata oranının düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.4. İHA ve yersel fotogrametri zaman serileri YKN Z fark değerleri ve ortalama hata.

| Örnek No      | İHA      | Yersel Fotogrametri |
|---------------|----------|---------------------|
| 1             | 0,057097 | 0,005035            |
| 2             | 0,050426 | 0,000375            |
| 3             | 0,000281 | 0,000369            |
| 4             | 0,021243 | 0,002323            |
| 5             | 0,009076 | 0,010903            |
| 6             | 0,038019 | 0,002675            |
| 7             | 0,003270 | 0,009127            |
| 8             | 0,005151 | 0,008489            |
| 9             | 0,051978 | 0,006534            |
| 10            | 0,069667 | 0,003965            |
| 11            | 0,028892 | 0,025925            |
| 12            | 0,014916 | 0,008148            |
| 13            | 0,022084 | 0,013983            |
| 14            | 0,040906 | 0,017382            |
| 15            | 0,121778 | 0,050076            |
| 16            | 0,076032 | 0,028184            |
| 17            | 0,046259 | 0,012539            |
| 18            | 0,032545 | 0,007223            |
| 19            | 0,000878 | 0,162447            |
| 20            | 0,085373 | 0,018629            |
| Toplam Hata   | 0,775871 | 0,394331            |
| Ortalama Hata | 0,038793 | 0,019716            |

Çizelge 3.5. İHA ve Yersel fotogrametri zaman serileri YKN Z farkları arasında bağımlı iki örnek t-testi.

| Yöntem | N  | Ortalama | Standart Sapma | t     | P*    |
|--------|----|----------|----------------|-------|-------|
| İHA    | 20 | 0,175    | 0,092          | 2,233 | 0.038 |
| Yersel | 20 | 0,112    | 0,087          |       |       |

\* P< 0,05

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada orman yolu kazı şevlerinde meydana gelen deformasyonlar, İHA ve yersel fotogrametrik yöntemler ile Mayıs 2020 ve Kasım 2020 tarihleri arasında zamansal olarak izlenmiştir. Çalışmaya konu kazı şevi yüzey alanı 221,82 m<sup>2</sup> olup şevin ortalama yüksekliği 2,09 m, uzunluğu 2,34 m ve eğimi %67 olarak tespit edilmiştir.

İHA uçuş ve yersel ölçüm deformasyon verileri sonuçlarına göre; toplam alansal bozulma İHA ile 17,80 m<sup>2</sup> alanda aşınma (erozyon) (0,080 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>), 15,01 m<sup>2</sup> alanda birikme (0,067m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>), yersel fotogrametrik yöntemle 28,37m<sup>2</sup> alanda aşınma (0,127 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>), 19,73 m<sup>2</sup> alanda birikme (0,088 m<sup>2</sup>m<sup>-2</sup>) tespit edilmiştir. Ayrıca toplam hacimsel bozulma ise İHA ile -1,34 m<sup>3</sup> (-0,0060 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>) aşınma miktarı, 1,03 m<sup>3</sup> (0,0046 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>) birikme miktarı ve yersel fotogrametrik yöntemle -1,13 m<sup>3</sup> (-0,0050 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>) aşınma miktarı ile 0,69 m<sup>3</sup> (0,0031 m<sup>3</sup>m<sup>-2</sup>) birikme miktarı bulunmuştur.

Yüzeysel akış yöntemi, parsellerin tesisi ve sediment kaybı ölçümleri bakımından iş yükü fazla ve zaman alıcıdır. Ayrıca arazi üzerinde ölçüm yapan personelin tecrübesi önem kazanmaktadır. Geleneksel toprak kaybı belirleme yöntemine alternatif olarak bu tez çalışmasında, İHA ve yersel fotogrametrik yöntem ile kazı şevinde meydana gelen toprak kayıpları tespit edilebilmiştir.

İHA ve yersel fotogrametrik yöntemler karşılaştırıldığında hem verinin depolanması hem de fotogrametrik işlemede bilgisayar donanımı kısıtları dikkate alındığında yersel fotogrametri için daha fazla görüntü alımına neden olması bir dezavantaj olarak görülmektedir. Ancak yer örneklem mesafesi açısından değerlendirildiğinde kazı şevine olan mesafenin azalmasına bağlı olarak görüntüyü oluşturan piksellerin konumsal çözünürlüğü artmış (yersel alımlar 2 kat daha yüksek çözünürlüklü) ve daha fazla detay elde edilmesine imkân sağlanmıştır. Zamansal olarak yersel fotogrametri yönteminde işlemler yaklaşık 2 kat daha uzun sürmüştür. Orman yolları kazı şevlerinde deformasyon tespiti çalışmalarında veri toplama ve işleme süresi bakımından yersel fotogrametrik yöntem ne kadar dezavantajlı olsa da yersel çözünürlük yüksek ve hata oranının düşük olması bakımından avantajlı durumda olduğu görülmüştür.

İHA ile orman yolları kazı şevlerinde meydana gelen deformasyonun izlenebilmesi hava koşullarının (yağmur, rüzgâr vb.) yanı sıra arazide bulunan meşcere kapalılığının uygun

olması gerekmektedir. Aksi halde uçuş zorlukları ve görüntü alımında problemler yaşanılabilceği göz önünde bulundurulmalıdır. Yersel fotogrametri yöntemi bu durumlardan daha az etkilenmektedir. Aynı zamanda maliyet bakımından İHA çalışmada kullanılan yersel ölçüm cihazından çok yüksek maliyettedir. Bu da arazide oluşabilecek kazalar sonucu işlem maliyetlerinin daha yüksek olması anlamına gelmektedir.

Altı aylık sürede yapılan bu tez çalışması belirli zaman dilimlerinde yapılarak zamansal değişimde meteorolojik verilerin etkileri de araştırılabilir. Ayrıca yersel fotogrametrik yöntem kullanılarak farklı disiplinlerde de yüzey deformasyonları belirlenebilir. Erozyona karşı koruyucu önlemlerin alınması için erozyonun miktarı ve şiddeti bilinmelidir. Bu çalışma sonuçları da göstermektedir ki orman yolu inşaatından sonra kazı şevlerinde meydana gelen erozyonu önlemeye yönelik çalışmalar vakit kaybetmeden başlanmalıdır.

## 5. KAYNAKLAR

- Acar, H.H. (1998). *Transport Tekniği ve Tesisleri*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- 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.
- Akgul, M., Yurtseven, H., Gulci, S., & Akay, A. E. (2018). Evaluation of UAV-and GNSS Based DEMs for Earthwork Volume. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1893-1909.
- Anonim 2018, *Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği Fonksiyonel Orman Amenajman Planı, Seben Orman İşletme Müdürlüğü*.
- Anonim 2020, *T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013-2017 erozyonla mücadele eylem planı*, Erişildi 10 Ocak 2020, <<https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Belgeler/erozyon%20belgeleri/EROZYON%20EYLEM.pdf>>.
- Anonim 2021, *KTÜ havza amenajmanı ders notları. erozyonun ölçülmesi ve tahmin yöntemleri*, Erişildi 20 Temmuz 2021, <[https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/havzaamenajmani\\_0f67d.pdf](https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/havzaamenajmani_0f67d.pdf)>.
- Arnáez, J., Larrea, V., & Ortigosa, L. (2004). Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena*, 57(1), 1–14.
- Aruga, K., Sessions, J., & Akay, A.E. (2005). Heuristic planning techniques applied to forest road profiles. *Journal of Forestry Research*, 10(2), 83–92.
- Attoh-Okine, N., & Adarkwa, O. (2013). ‘Pavement condition surveys—overview of current practices’, Phd thesis, University of Delaware, Newark, USA.
- Balcı, A.N. & Öztan, Y. (1987). *Sel Kontrolü Ders Kitabı*. Trabzon:Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Balcı, A.N. (1996). *Toprak Koruması*. İstanbul:İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Bayoğlu, S. (1997). *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları (Orman Yolları)*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Bendea H., Boccoardo P., Dequal S, Tonolo F. G., Marencchino D., & Piras, M. (2008). Low cost UAV for post disaster assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 8.
- Berendse F., Van Ruijven J., Jongejans E., & Keesstra S. (2015). Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance. *Ecosystems*, 18, 881-888.

- Bjorklund, E.S. Environmental Statement (2005); *Wood Supply Europe Report*; Stora Enso Forest Product: Stockholm, Sweden.
- Buğday, E. (2018). Capabilities of using UAVs in forest road construction activities. *European Journal of Forest Engineering*, 4(2), 56-62.
- Cruden D.M. (1991). A simple definition of a landslide, *Bulletin of the international association of engineering geology*, 43.
- Çepel, N., 1995. *Orman Ekolojisi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, İstanbul.
- Demir, M., Makineci, E., Kartaloğlu, M. (2013). Monitoring of grain size fractions of sediments from different forest road types. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 14(4), 1559–1568.
- Demir, M., Makineci, E., Kartaloğlu, M. (2012). Temporal sediment production of paved and unpaved forest roads. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(5), 1180–1185.
- DPT, 2001. *Devlet Planlama Teşkilatı, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Ankara.
- Díaz-Vilariño, L., González-Jorge, H., Martínez-Sánchez, J., Bueno, M., & Arias, P. (2016). Determining the limits of unmanned aerial photogrammetry for the evaluation of road runoff. *Measurement*, 85, 132–141.
- Dobson, R. J., Brooks, C., Roussi, C., & Colling, T. (2013). Developing An Unpaved Road Assessment System For Practical Deployment With High-Resolution Optical Data Collection Using A Helicopter UAV. İçinde 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (ss. 235-243).
- Dunford, R., Michel, K., Gagnage, M., Piégay, H., & Trémelo, M. L. (2009). Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*, 30(19), 4915-4935.
- Eisenbeiss, H., & Sauerbier M. (2011). Investigation Of Uav Systems And Flight Modes For Photogrammetric Applications. *The Photogrammetric Record*, 26(136), 400–421.
- Eker, R., & Aydin, A. (2014). Assessment of forest road conditions in terms of landslide susceptibility: a case study in Yığılca Forest Directorate (Turkey). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2), 281-290.
- Elliot, W.J., Koler, T.E., Cloyd, J.C., & Philbin, M., (1994). *Impact of Landslides on an Ecosystem*. ASAE Paper No: 947517. St. Joseph, ASAE, Michigan.
- Erdaş, O. (1997). *Orman yolları*. Trabzon:Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Erdem, R., Enez, K., Demir, M., & Sariyildiz, T. (2018). Slope Effect on the Sediment Production of Forest Roads in Kastamonu of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(4), 2019–2025.
- Ferreira V., Panagopoulos T., Andrade R., Guerrero C., & Loures L. (2015). Spatial variability of soil properties and soil erodibility in the Alqueva reservoir watershed. *Solid Earth*, 6(2), 383-392.

- Görcelioğlu, E., (2003). *Sel ve Çığ Kontrolü*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Görcelioğlu, E. (2004a). *Orman Yolları-Erozyon ilişkileri*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Görcelioğlu, E., (2004b). *Biyoteknik Yapılar*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Gülci, S., Gülci, N., & Şireli, S. (2016). Study on digital terrain modelling by using total station for precision forestry: A case study from Kahramanmaraş Sütçü İmam University Campus, Turkey. *İçinde 1 st International Symposium of Forest Engineering and 66 Technologies (FETEC 2016) Forest Harvesting and Roding in Environmentally Sensitive Areas*.
- Hacisalihoglu, S., Gumus, S., Kezik, U., & Karadag, H. (2019). Impact of forest road construction on topsoil erosion and hydro-physical soil properties in a semi-aridmountainous ecosystemin Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(1), 113-121.
- Hasdemir, M., & Demir, M. (2000). Türkiye'de orman yollarını karayollarından ayıran özellikler ve bu yolların sınıflandırılması. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 50(2), 85-96.
- Hrůza, P., Mikita, T., & Janata, P. (2016). Monitoring of forest hauling roads wearing course damage using unmanned aerial systems. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(5), 1537-1546.
- Hrůza, P., Mikita, T., Tyagur, N., Krejza, Z., Cibulka, M., Procházková, A., & Patočka, Z. (2018). Detecting Forest Road Wearing Course Damage Using Different Methods of Remote Sensing. *Remote Sensing*, 10(4), 492.
- Jordan, A., & Martinez-Zavala, L. (2008). Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 913–919.
- Karabulut, M., & Küçükönder, M., (2008). Kahramanmaraş Ovası ve Çevresinde CBS Kullanılarak Erozyon alanlarının Tespiti. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 11(2), 9.
- Kartaloglu, M. (2011). ‘Temporal Variation of Sedimentation on Paved and Unpaved Forest Roads’, Master’s Thesis, Istanbul University, Istanbul, Turkey.
- Kirkby, M.J., & Morgan, R.P.C. (1980). *Soil Erosion*. Chichester: John Wiley, xiv, 316.
- Lindner G., Schraml K., Mansberger R., & Hübl J. (2016). UAV monitoring and documentation of a large landslide. *Applied Geomatics*, 8(1), 1-11.
- Luce, C.H., & Black, T.A. (1999). Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resources Research*, 35(8), 2561–2570.
- Maetens, W., Vanmaercke, M., Poesen, J., Jankauskas, B., Jankauskiene, G., & Ionita I. (2012). Effects of land use on annual runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean: A meta-analysis of plot data. *Progress in Physical Geography*. 36(5), 599.
- Megahan, W.F. (1980). Erosion from roadcuts in granitic slopes of the Idaho batholith.

- İçinde *Proceedings of the Cordilleran Section of the Geological Society of America, 76th Annual Meeting, Corvallis, OR, USA, (120)*.
- Megahan, W.F., King, J.G., & Sayedbagheri, K.A., (1995). Hydrologic and Erosional Responses of A Granitic Watershed to Helicopter Logging and Broadcast Burning, *Forest Science*, 41(4), 777-795.
- Megahan, W.F. (1977). Reducing erosional impacts of roads. In FAO Conservation Guide 1; FAO: Rome, Italy.
- Mitch, B., & Salah, S. (2009). Architecture for cooperative airborne simultaneous localization and mapping. *Journal Intelligent. Robotic System*, 55(4-5), 267-297.
- Nasiri, M., & Hosseini, S.A. (2012). Effect of LS factor on soil loss rate from cut slopes after the construction of forest roads. *Journal of Environmental Science and Management*, 15(2), 13-18.
- Nearing, M.A., Xie, Y., Liu, B., & Ye, Y. (2017). Natural and anthropogenic rates of soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(2), 77-84.
- Nebiker, S., Annena, A., Scherrerb, M., Oeschc, D. (2008). "A light-weight multispectral sensor for micro UAV—Opportunities for very high resolution airborne remote sensing", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII. Part B1 Beijing, China, 1193-1198.
- Newcome, L. R. (2004). *Unmanned Aviation: A Brief History Of Unmanned Aerial Vehicles*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Opitz R. S., & Johnson T. D., (2016). Interpretation at the Controller's Edge: Designing Graphical User Interfaces for the Digital Publication of the Excavations at Gabii (Italy) [J]. *Open Archaeology*, 1(1).
- Özdamar, K., (2004). *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi*. Eskişehir: Kaan Kitabevi.
- Peker, T., (1998), 'Ülkemiz Karayollarında Karşılaşılan Morfolojik Sorunlar ve Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınabilecek Önlemler', Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Rango, A., Laliberte, A., Steele, C., Herrick, J. E., Bestelmeyer, B., Schmugge, T., Roanhorse, A., & Jenkins, V., (2006). Using Unmanned Aerial Vehicles for rangelands: current applications and future potentials. *Environmental Practice*, 8(3), 159-168.
- Sidle, R.C., Sasaki, S., Otsuki, M., Noguchi, S., & Nik, A.R. (2004). Sediment pathways in a tropical forest: Effects of logging roads and skid trails. *Hydrological Processes*, 18, 703-720.
- Stöcker, C., Eltner, A., & Karrasch, P., (2015). Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry — A case study from Andalusia, Spain. *Catena*, 132, 1-11.
- Stroosnijder, L. (2005). Measurement of erosion, Is it possible. *Catena*, 64(2-3), 162-173.
- Şensoy, H., Kara, Ö., & Hızal, A., (2011). Erozyonun Belirlenmesinde Yüzeysel Akış Parseli Kullanımının İrdelenmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 1-13.

- Tahar, K. N., Ahmad, A., & Akib, W. A. A. W. M. (2011). UAV-based stereo vision for photogrammetric survey in aerial terrain mapping. İçinde In 2011 IEEE *International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE)* (443-447).
- Tonkin, T., Midgley, N., Graham, D., & Labadz, J., (2014). The Potential of Small Unmanned Aircraft Systems and Structure-from-Motion for Topographic Surveys: A Test of Emerging Integrated Approaches at Cwm Idwal, North Wales. *Geomorphology*, 226, 35–43.
- Turk, Y., Aydin, A., Eker, R., & Bodur, M. (2018). Evaluation of UAV Usage Possibility in Determining the Environmental Impacts of Construction Activities of Forest Roads: Preliminary Results. İçinde *International Ecology 2018 Symposium*, (ss. 469).
- Turk, Y., Aydin, A., & Eker, R. (2019b). Effectiveness of open top culverts in forest road deformations: preliminary results from a forest road section. İçinde Düzce-Turkey. İçinde *2<sup>nd</sup> International Symposium of Forest Engineering and Technologies*, 04-06 September 2019 Tirana, 147-152.
- Turk, Y., Boz, F., Aydin, A., & Eker, R. (2019a). Evaluation of UAV usage possibility in determining the forest road pavement degradation: preliminary results. İçinde *3rd International Engineering Research Symposium*, September 05-07, 2019. Düzce Turkey, 630-633.
- Türk, Y., Canyurt, H., Eker, R., & Aydin, A. (2022). İnsansız Hava Aracı ile Orman Yolu Kazı ve Dolgu Hacimlerinin Belirlenmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, Özel Sayı, 9(2).
- Türüdü, Ö. A., 2004. *Toprak Bilgisi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Uzunsoy, O. & Görcelioğlu, E., (1985). *Havza Islahında Temel İlke ve Uygulamalar*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Varnes D.J. 1978. *Slope movements: type and processes, in landslides and engineering practice, transportation research board, national academy of sciences, special report*, 12-33.
- Wang, H. (2005). Development of laser system to measure pavement rutting. Ph.D. dissertation, Dept. of Civil Engineering, Univ. of South Florida.
- Wang J., Wang H., Cao Y., Bai, Z., & Qin, Q. (2016). Effects of soil and topographic factors on vegetation restoration in opencast coal mine dumps located in a loess area. *Scientific Reports*, 6, 22058.
- 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.
- Wilkinson, M. W., Jones, R. R., Woods, C. E., Gilment, S. R., McCaffrey, K. J. W., Kokkalas, S., & Long, J. J. (2016). A comparison of terrestrial laser scanning and

- structure-from-motion photogrammetry as methods for digital outcrop acquisition. *Geosphere*, 12(6), 1865-1880.
- Wilson, R.L. 1970. *Source of erosion on newly constructed logging roads in the H.J. Andrews's experimental forest.*
- Xiang, H., & Tian, L. (2011). Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems Engineering*, 108(2), 174–190.
- Zemke, J.J. (2016). Runoff and soil erosion assessment on forest roads using a small scale rainfall simulator. *Hydrology*, 3(3), 25.
- Zemke, J.J., König, D. (2016). Abflussbildung und bodenerosion auf forstwegen. *Geographische Rundschau*, 68(1), 46-53.
- Zhang, C. (2008). An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 627-632.
- Zhang Z., Sheng L., Yang J., Chen, X-a., Kong L., & Wagan B. (2015). Effects of land use and slope gradient on soil erosion in a red soil hilly watershed of southern China. *Sustainability*, 7, 14309.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Vuralhan ÖZÇELİK

Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

| Derece    | Alan                  | Okul/Üniversite    | Mezuniyet Yılı |
|-----------|-----------------------|--------------------|----------------|
| Y. Lisans | Orman Mühendisliği    | Düzce Üniversitesi | 2022           |
| Lisans    | Orman Mühendisliği    | Düzce Üniversitesi | 2018           |
| Lise      | Bilişim Teknolojileri | Bafra AEM Lisesi   | 2011           |

## YAYINLAR

Vuralhan, O., Turk, Y., Cinar, T., & Aydin, A. (2021). Determination of Soil Losses in Forest Road Cutslopes in Semi-Arid Mountainous Areas by UAVs: Preliminary Results, 4<sup>th</sup> International Conference on Life Science and Technology, 8-10 September, Budva, Montenegro.