

**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ORMAN YOLU KAZI VE DOLGU  
HACİMLERİNİN BELİRLENMESİ (BOLU-TAŞLIYAYLA ÖRNEĞİ)**

**HARUN CANYURT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. YILMAZ TÜRK**

**DÜZCE, 2023**

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

**İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ORMAN YOLU KAZI VE DOLGU  
HACİMLERİNİN BELİRLENMESİ (BOLU-TAŞLIYAYLA ÖRNEĞİ)**

Harun CANYURT 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: 30/01/2023

## 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.

30 Ocak 2023

Harun CANYURT

## TEŞEKKÜR

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

Desteklerinden dolayı Prof. Dr. Abdurrahim AYDIN hocama teşekkür ederim. Tez çalışmasında şev kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesi için kullanılan algoritmanın yazımında ve arazi çalışmalarında yardımlarını aldığım tez jürisi Dr. Öğr. Üyesi Remzi EKER hocama teşekkür ederim.

Ayrıca arazi çalışmalarında yardımlarını aldığım Vuralhan ÖZÇELİK, Burak TÜRKAY, Ece ALKAN, Tunahan ÇINAR ve Yakup YAMAN'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.

**30 Ocak 2023**

**Harun CANYURT**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>x</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. ORMAN YOLLARI</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.1. Kazı ve Dolgu Şevleri</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1.2. Orman Yollarının Yapımı</b> .....	<b>6</b>
<i>1.1.2.1. Orman Yol Projeleri ve Uygulamadaki Durum</i> .....	<b>8</b>
<b>1.1.3. Kazı ve Dolgu Hacimlerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler</b> ....	<b>11</b>
<i>1.1.3.1. Arazi Ölçüm Yöntemleri</i> .....	<b>11</b>
<i>1.1.3.2. Fotogrametrik Yöntemler</i> .....	<b>14</b>
<b>1.2. İHA SİSTEMLERİ</b> .....	<b>14</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1. MATERYAL</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.1. Araştırma Alanı</b> .....	<b>16</b>
<i>2.1.1.1. Yeri (Mevkii)</i> .....	<b>16</b>
<i>2.1.1.2. Çalışma Alanı Orman Varlığı ve Yol Ağı Durumu</i> .....	<b>17</b>
<i>2.1.1.3. Çalışma Alanı İklim ve Bitki Örtüsü</i> .....	<b>17</b>
<i>2.1.1.4. Kullanılan Araç ve Gereçler</i> .....	<b>19</b>
<i>2.1.1.5. İş Akış Şeması</i> .....	<b>19</b>
<b>2.2. YÖNTEM</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.1. İHA Sistemi ile Sayısal Görüntülerin Alınması</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.2. İHA ile Alınan Sayısal Görüntülerin İşlenmesi</b> .....	<b>23</b>
<b>2.2.3. Yolun Geometrik Özelliklerinin Arazide Belirlenmesi</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.4. Kazı ve Dolgu Hacminin Belirlenmesi</b> .....	<b>26</b>
<i>2.2.4.1. İHA Verilerinden Kazı ve Dolgu Hacminin Belirlenmesi</i> .....	<b>26</b>
<i>2.2.4.2. Arazi Ölçümlerinden Kazı Hacimlerinin Belirlenmesi</i> .....	<b>29</b>
<b>3. BULGULAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1. ORMAN YOLU ÖZELLİKLERİ VE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNE İLİŞKİN BULGULAR</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2. KAZI HACİMLERİNE İLİŞKİN BULGULAR</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.1. İHA Verilerinden Elde Edilen Hacimlere İlişkin Bulgular</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2.2. Arazi Ölçümlerinden Elde Edilen Hacimlere İlişkin Bulgular</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3. KAZI HACMİ VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASINA İLİŞKİN BULGULAR</b> .....	<b>45</b>
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	<b>47</b>
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	<b>48</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Orman yollarında şevler (Peker, 1998).....	5
Şekil 1.2. Orman yolu en kesit ölçüleri (OGM, 2008). ....	5
Şekil 1.3. Şev üçgeninde h ve b değerlerinin yeri (Erdaş, 1997).....	6
Şekil 1.4. Hakediş metraj cetvellerinin oluşturulması için yapılan arazi ölçümleri. ....	12
Şekil 1.5. Yersel ölçüm aletleri a) Mira ve Nivo, b) CORS GPS, c) Reflektör ve total staion. ....	13
Şekil 1.6. Yersel fotogrametrik yöntemler: a) GPS entegreli kamera b) vIDOC RTK tarayıcı c) Yersel lazer tarayıcı.....	14
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi. ....	16
Şekil 2.2. Çalışma alanı orman yol ağı haritası. ....	17
Şekil 2.3. Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği Meşcere haritası.....	18
Şekil 2.4. İHA Sistemleri ve CHCN X91 GNSS uydu alıcısı: a) DJI Phantom, b) DJI Mavic Pro, c) CHCN X91 GNSS uydu alıcısı, d) DJI Mavic Pro uzaktan kumandası. ....	19
Şekil 2.5. İş akış şeması. ....	20
Şekil 2.6. YKN'lerin alana aplike edilmesi ve RTK-GNSS alıcı ile koordinatlarının ölçülmesi. ....	22
Şekil 2.7. Arazide ölçülen YKN konumları.....	22
Şekil 2.8. Agisoft Photoscan Professional version 1.5.2 yazılımında verilerin işlenmesi.....	23
Şekil 2.9. Agisoft Photoscan Professional version 1.5.2 yazılımında zemin sınıflandırması. ....	24
Şekil 2.10. Google Earth Engine platformu ara yüzü. ....	25
Şekil 2.11. Fark SYM verisi üretimi.....	27
Şekil 2.12. ArcGIS ArcMap için tasarlanan araç kutusu (Turk ve diğ., 2022).....	27
Şekil 2.13. Fark SYM verisinden kazı ve dolgu hacim ve alanlarının elde edilmesi (Sıfır Çizgisi: İki SYM arasındaki farkın sıfır olduğu yani herhangi bir aşınma veya birikmenin olmadığı anlamına gelmektedir). ....	28
Şekil 2.14. Araç kutusu çıktısının metin dosyası örnek görüntüsü.....	28
Şekil 2.15. Kazı şevi yüksekliklerinin ölçümü ve zemin klaslarının belirlenmesi. ....	31
Şekil 2.16. Etüt karnesi. ....	32
Şekil 2.17. Metraj cetveli.....	34
Şekil 3.1. Çalışma alanının Ortofotoda (a) ve arazide (b) tespit edilebilen zemin klasları durumu.....	36
Şekil 3.2. Zemin sınıfları haritası.....	37
Şekil 3.3. Çalışma alanına ait yol yapılmadan önceki Ortofoto (a) ve SYM verileri (b). ....	38
Şekil 3.4. Çalışma alanına ait yol yapıldıktan sonraki Ortofoto (a) ve SYM verileri (b). ....	38
Şekil 3.5. İHA'ya ait alansal kazı ve dolgu sınıfları haritası. ....	40
Şekil 3.6. Hacimsel kazı ve dolgu haritası.....	41
Şekil 3.7. İHA verisi ve 292 sayılı tebliğ Tablo 6 ya göre kazı miktarı grafiği.....	46

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008). ....	4
Çizelge 2.1. Seben meteoroloji istasyonu bazı iklim verileri (DMİ, 2019).....	18
Çizelge 2.2. YKN olarak kullanılan koordinatlar. ....	22
Çizelge 2.3. 292 sayılı tebliğ esaslarına göre kazı hacimlerinin belirlenmesinde kullanılan hazır tablolar (1-16). ....	29
Çizelge 2.4. 292 Sayılı Tebliğ Tablo 6. ....	33
Çizelge 3.1. İHA sonuçlarından elde edilen kazı ve dolgu hacim ile alan bilgileri.....	39
Çizelge 3.2. Kazı şevi yükseklikleri. ....	42
Çizelge 3.3. Orman işletme müdürlüğünden alınan formüllü etüt karnesi. ....	43
Çizelge 3.4. 292 sayılı tebliğ Tablo 6'ya göre hazırlanan metraj cetveli. ....	44
Çizelge 3.5. İHA verisi ve 292 sayılı tebliğ Tablo 6 ya göre kazı miktarlarının karşılaştırılması .....	45



## KISALTMALAR

EBT	Ekstrem 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

%	Yüzde
°	Derece
ha	Hektar
km	Kilometre
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp



## ÖZET

### İNSANSIZ HAVA ARACI İLE ORMAN YOLU KAZI VE DOLGU HACİMLERİNİN BELİRLENMESİ (BOLU-TAŞLIYAYLA ÖRNEĞİ)

Harun CANYURT

Düzce Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Yılmaz TÜRK

Ocak 2023, 51 sayfa

Ormancılıkta üretim aktivitelerinin planlanmasında ve orman yollarının tasarlanmasında, konumsal verilere dayalı karar destek sistemleri bazı ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, ormanlık alanların yüksek çözünürlükte ve doğrulukta sayısal yükseklik modellerinin (SYM) üretilmesinde İnsansız Hava Araçları (İHA) aktif rol almaktadır. İHA ile iş yükü azaltılmakta, zaman kazanımı ve daha hassas veriler elde edilmektedir. Orman yolu yapım işleri hakediş (olur) cetvellerinin hazırlanmasında iş yükü fazla olmaktadır. Ayrıca yol yapımı bittikten sonra yüklenici firmaya ödenecek ücret hakediş cetvellerinde bulunan kesin maliyete göre belirlenmektedir. Bu tez çalışmasında; İHA teknolojisinin orman yolu kazı ile dolgu hacimlerinin ve kazı şevi zemin klaslarının belirlenmesinde kullanılabilirliği araştırılarak, bu veriler doğrultusunda hakediş cetvellerinin hazırlanması incelenmiştir. Seben Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde yer alan Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği 001 kodlu orman yolunun 640 metrelik kısmı çalışmaya konu edilmiştir. Çalışmaya konu yolun yapımından önce ve sonra İHA (drone) ile uçuşlar otonom olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hakediş kazı miktarının belirlemesi için yol yapımından sonra arazide yolun geometrik özelliklerine ilişkin ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, İHA verileri ile 2189 m<sup>3</sup> kazı hacmi, 4183 m<sup>3</sup> dolgu hacmi ve 1468 m<sup>2</sup> kazı alanı, 2980 m<sup>2</sup> dolgu alanı bulunmuştur. Hakediş kazı miktarı hesabında kullanılan 292 sayılı tebliğ esaslarına göre yapılan hesaplamada ise kazı miktarı 2080 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. İHA verileri ve mevcut kullanılan yöntem arasında +%5 lik bir fark bulunmaktadır. Ayrıca alanda toprak ve küskülük zemin klasları ortofoto görüntülerinden tespit edilmiş ve arazi gözlemlerinden doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar orman yolu hakedişinin belirlenmesinde İHA'ların kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar sözcükler:** İHA, Kazı ve dolgu hacimleri, Orman yolları, Sayısal yükseklik modeli

## ABSTRACT

### DETERMINATION OF FOREST ROAD CUT AND FILL VOLUMES WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE (A CASE STUDY IN THE BOLU-TAŞLIYAYLA)

Harun CANYURT

Düzce University

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yılmaz TÜRK

January 2023, 51 pages

In the planning of production activities in forestry and in the design of forest roads, decision support systems based on spatial data are widely used in some countries. In recent years, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) have been used in the production of high resolution and accuracy digital elevation model (DEM) of forest areas. With the UAV, the workload is reduced, time is saved and more sensitive data is obtained. The workload is much in the preparation of forest road progress payment schedules. In addition, the fee to be paid to the contractor company after the road construction is completed is paid according to the final cost in the progress payment schedule. In this thesis study; the usability of UAV technology in the determination of forest road cut and filling volumes was investigated. In addition, determination of cutslope land classification was also investigated. Thus, the preparation of progress payment statements was examined. Within the scope of the study, the 640-meter section of the 001-coded secondary forest road of Taşlıyayla Forest Management Chief, which is located within the borders of Seben Forestry Directorate, was selected. Before and after the construction of the road, which is the subject of the study, flights with UAV (drone) were carried out autonomously. In addition, in order to determine the amount of progress payment cut, measurements were made on the geometric features of the road in the field after the road construction. As a result of the study, 2189 m<sup>3</sup> cut volume, 4183 m<sup>3</sup> filling volume, 1468 m<sup>2</sup> cut area, 2980 m<sup>2</sup> filling area were found with UAV data. In the calculation made according to the principles of the communiqué numbered 292 used in the calculation of the progress payment cut amount, the cut amount was found to be 2080 m<sup>3</sup>. There is a +5% difference between the UAV data and the currently used method. In addition, soil and loose soil land classification in the area were determined from orthophoto images and verified from field observations. The results obtained reveal the usability of UAVs in the determination of forest road progress payment.

**Keywords:** Cut and fill volumes, Digital elevation model, Forest roads, UAVs

# 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 ile 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). Bundan başka 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).

Ülkemizde orman yolu planlanması ve yapım çalışmaları Orman Genel Müdürlüğü'nce (OGM) "292 Sayılı Orman yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı Tebliğindeki" (OGM, 2008) esaslara göre yürütülmektedir. Orman yolu hakediş (olur) cetvellerinin hazırlanmasında arazide yapılan ölçümlerden yararlanılmaktadır. Bu da iş yükünü artırmaktadır. Ayrıca yol yapımı bittikten sonra yüklenici şirkete ödenecek ücret hakediş cetvellerinde bulunan kesin maliyete göre ödenmektedir. Bu nedenle orman yolu yapım sürecinde hakediş belirleme işlemleri önemlidir.

Kazı ve dolgu hafriyat işleri, orman yolu inşaat maliyetinin ekonomik olarak en büyük iş kalemini oluşturmaktadır. Bu nedenle kazı ve dolgu hacimlerinin doğru tahmin edilmesi önemlidir (Gümüş ve diğ., 2003; Contreras ve diğ., 2012;). Bir orman yolu inşaatında zemin klaslarının ve kazı miktarının belirlenmesi yol inşaat maliyetinin belirlenmesi ve yüklenici şirkete yapılacak ödemenin doğru hesaplanması bakımından esastır (Acar ve Karabacak, 2012).

Orman yolu yapımı ile ilgili ihale sonuçlarının incelendiği çeşitli çalışmalarda yaklaşık maliyet değerleri ile hakediş değerleri arasındaki farklılık zemin klaslarının tespitinden,

belirlenen hem yol uzunluğu hem de toplam kazı miktarındaki farklılıklardan kaynaklandığı belirtilmektedir (Karabacak, 2010; Erbaş, 2010; Türk ve Gümüş, 2017).

Bazı ormancılık çalışmalarında konumsal verilere dayalı ve bilgisayar destekli karar destek sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yeni sistemlerin başarılı ve etkin şekilde kullanılabilmesi için ormanlık alanların topografik zelliklerinin, SYM'lerin yardımı ile bilgisayar ortamında gerçeğe en yakın biçimde temsil edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde ulaşılan teknolojik gelişmelerle yol projelerinin hazırlanması ve uygulanması daha düşük maliyet, etkin ve bilimsel mühendislik standartlarına uygun şekilde uygulanabilir hale gelmiştir. Orman yollarının planlanması aşamasında İnsansız hava aracı (İHA) kullanılarak elde edilen SYM'den yararlanılarak AutoCAD Civil 3D Yazılımı ve NetCAD harita çizim programının NETPRO modülü gibi yazılımlardan yararlanılabilir.

İHA sistemleri ile yüksek çözünürlükte ve doğrulukta SYM'ler üretilmektedir. İHA platformlarının kullanımının yaygınlaşmasında yeni nesil görüntü işleme tekniklerinin etkisi oldukça fazladır. Fotogrametrinin gelişimi olarak nitelendirilen Structure-from-motion (SfM) algoritmasının dijital ortamda artan kullanımı ise İHA ve sistemlerinin geliştirilmesinde büyük öneme sahiptir (Gülci ve diğ., 2021). SfM mantığı ile çalışan birçok ticari veya açık kaynak kodlu yazılım ile yüksek çözünürlükte SYM ve ortofotolar kolaylıkla oluşurmaktadır (Shervais, 2015; Wallace ve diğ., 2016).

Dünyada orman yolları ile ilgili olarak İHA sistemlerinin kullanıldığı çalışmalar son dönemde artan şekilde kullanılmaktadır. Buğday (2018), İHA sistemlerinin orman yolları yapım çalışmalarında kullanılabilme kabiliyetini incelemiş, çalışmasında bir orman yolunun kazı ve dolgu hacimlerini bulmuştur.

Türk ve diğ. (2018), orman yollarında inşaat faaliyetlerinin çevresel etkilerinin belirlenmesinde İHA kullanım olanağını değerlendirmişlerdir. Çalışmada optik sensörlerin, yoğun meşcerelerde yol yapımı nedeniyle dolgu alanının ve inşaat etki alanının haritalanmasında sınırlı yeteneklere sahip olduğu belirlenmiştir. İHA tabanlı yol yüzey deformasyonlarının izlenmesine ilişkin son dönem çalışmalar ise Turk ve diğ. (2019a) ve Turk ve diğ., (2019b) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda yol üst yapısında meydana gelen erozyon ve birikme miktarları belirlenmiştir.

Orman yolları ile ilgili olarak İHA haricinde yersel fotogrametrinin kullanıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ülkemizde orman yolları ile ilgili yapılan bir çalışmada

Akgül ve diğ. (2017), orman yolu üst yapısında oluşan deformasyonlarda etkin bir role sahip olan meteorolojik durumların yersel lazer tarayıcı kullanılarak değerlendirilmiştir. Yine Eker (2023) çalışmasında orman yolu yüzey deformasyonunun ölçümünde PPK entegreli yakın mesafe yersel fotogrametri ve bir el tipi mobil lazer tarayıcı kullanmıştır. 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. Hrúza 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. Tez konusu ile ilgili yersel fotogrametrinin kullanıldığı bir çalışma bulunamamıştır.

Bu tez kapsamında çalışma alanı olarak Seben Orman İşletme Müdürlüğü (Bolu), Taşlıyayla İşletme Şefliği içerisindeki 001 kodlu B Tipi orman yolunun 640 metrelik kısmı seçilmiştir. İHA uçuşları yol yapımından önce (Nisan 2019) ve yol yapımından sonra (Eylül 2020) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca arazi ölçümleri de yol yapımından sonra yapılmış kazı miktarları belirlenerek İHA sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı;

1. İHA teknolojisinin orman yolu kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesinde kullanılabilirliğinin incelenmesi,
2. İHA teknolojisi ile orman yolu hakediş (olur) kazı miktarlarının belirlenmesi,
3. İHA ve arazi ölçüm veri sonuçlarının karşılaştırılması,
4. İHA görüntülerinden zemin klaslarının tespit edilmesi,

## **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 (Çizelge 1.1).

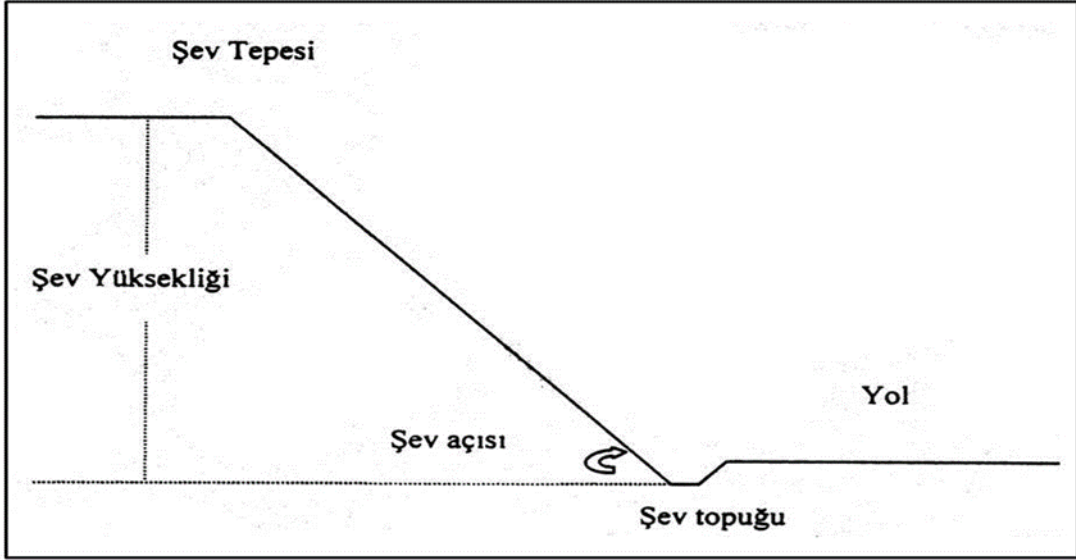
Çizelge 1.1. Orman yolları geometrik standartları (OGM, 2008).

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 karp 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)	-

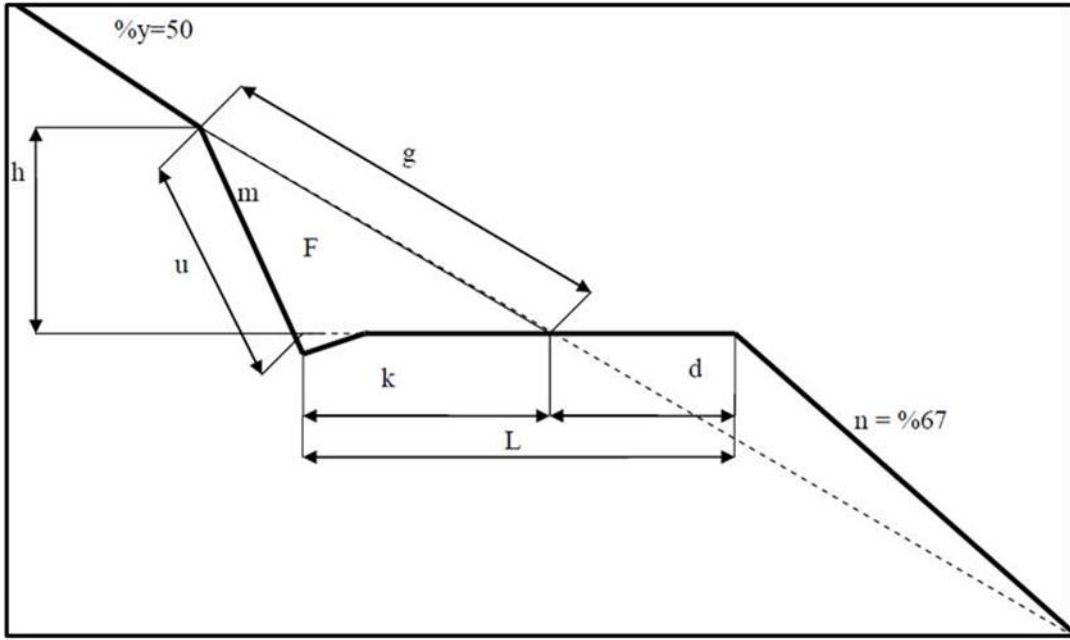
SBT: Standartları Yükseltilmiş B-Tipi Tali Orman Yolu, NBT: Normal B-Tipi Tali Orman Yolu, EBT: Ekstrem B-Tipi Tali Orman Yolu.

### 1.1.1. Kazı ve Dolgu Şevleri

Herhangi bir orman yolu inşaatında, kazı ve dolguda platform kenarı ile doğal arazi yüzeyi arasındaki eğik düzleme “şev” denir (Erdaş, 1997). Şevin arazi üzerindeki en yüksek noktası “şev tepesi”, alt noktası “şev topuğu”, bu iki nokta arasında kalan düşey mesafe “şev yüksekliği”, şevin yatayla eksenle yaptığı açı “şev açısı”, bu açının tanjantı “şev eğimi” olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1.1). Şevler içerisinde bulunan malzemeye göre kaya, küskülük ve toprak şevler olarak sınıflandırılır (Peker, 1998). Orman yolu en kesit ölçüleri OGM’ye göre Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Orman yollarında şevler (Peker, 1998).



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

$\% y$  = Yamaç eğimini,

$L$  = Platform + hendek yol genişliği

$h$  = Kazı yüksekliği

$m$  = Kazı şev eğimi 2/1, 3/1, 4/1, 5/1

$n$  = Dolgu şev eğimi  $2/3 = 0.67$  doğal zeminlerin durağan eğimi

$d$  = İnşa edilen yoldaki dolgu genişliğini,

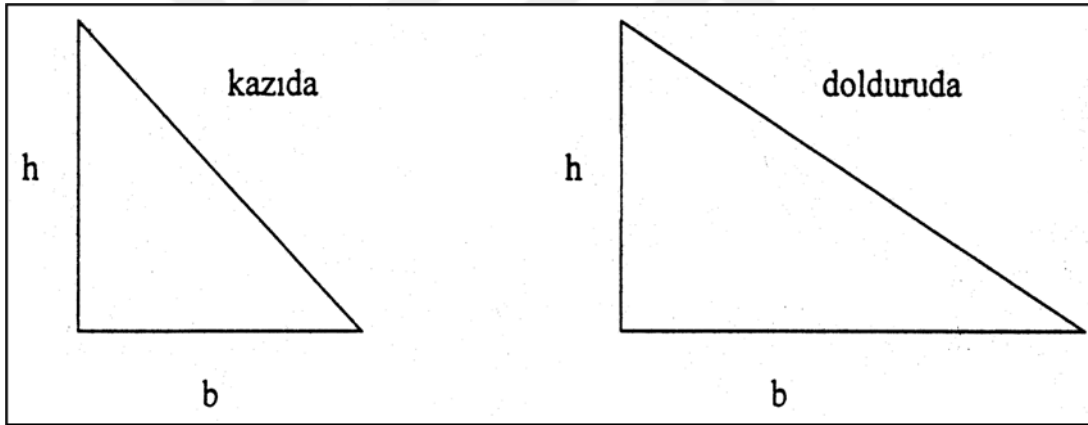
$k$  = İnşa edilen yoldaki kazı genişliğini,

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

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

$u$  = Kazı şevi 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. Şevlerdeki 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. Orman Yollarının Yapımı

Ülkemizde orman yollarının yapımı; 2008 yılında uygulamaya giren ‘Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı’ adındaki 292 sayılı tebliğ esaslarına göre yapılmaktadır. Devlet Orman İşletmesi Döner Sermaye Yönetmeliğinin 20. maddesine ve mevzuatına göre ilgili mercilerden izin almak suretiyle, orman yolu inşaatları Orman İşletme Müdürlükleri (OİM) tarafından yapılır veya yaptırılır (OGM, 2008).

Mevcut mevzuatta orman yolu yapımı ilgili işletme şefinin, yol ağı planlarında mevcut olan yolların yapım isteğini yazılı olarak Orman Bölge Müdürlüklerine bildirimini ile başlanmaktadır. Yapılan başvuru Orman Bölge Müdürlüğü bünyesinde bulunan Makine

İkmal Şube Müdürlüğü tarafından yıllık iş programına göre incelendikten sonra yapıma karar verilir.

Orman yolları yapım işlemi Makine İkmal Şube Müdürlüğü teknik personeli ve istemde bulunan işletme şefi ile oluşturulan bir keşif ekibi (son yıllarda ihale ile özel sektöre de yaptırılmaktadır) ile başlatılır. Orman yol ağı planında mevcut olan yol parçasının öncelikle arazide yapılan ölçümler ile zemine aplikasyonu yapılır. Bu aşamada yolun başlangıç noktası ve eğimi dikkate alınarak yol platformu seviye kazığı ile şev kazıkları arazi üzerinde tespit edilerek aplikasyon tamamlanır. Bu işlem sırasında eğimölçer ve şerit metre kullanılmaktadır.

Yolun aplikasyon işlemi ile birlikte, metraj cetvelinde belirtilen; yol eğimi, yol genişliği ve yamaç eğimleri dikkate alınarak Orman Genel Müdürlüğü, İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığı, Etüt Proje Şube Müdürlüğüne hazırlanan “Orman yolları yapım işleri teknik şartnamesi” gereğince Metraj Cetveli düzenlenir. Metraj cetveli yanında teknik ekibin deneyimlerine dayanan zemin etüdü yapılır ve yol boyunca kayıt edilir. Zemin etüdü yol boyunca yapılacak kazı işlerinde zemin klaslarını belirten toprak, küskülük ve kayalık oranlarının belirlenmesi işlemidir.

Metraj cetvelinin düzenlenmesinden sonra toplam kazı miktarı ile bu miktarın zemin cinslerine göre dağılımını gösteren İkmal Cetveli hazırlanarak 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu kapsamında Açık İhale Usulü ile İhale Edilen Yapım İşlerine göre ihaleye çıkılarak yol yapım işi yüklenici firma tarafından gerçekleştirilmektedir.

Yol yapımı yüklenici tarafından gerçekleştirildikten sonra, kontrol komisyonunca arazi incelemesi yapılarak, yolun tekniğine uygun yapılıp yapılmadığı kontrol edilip, yapılan işler için metraj cetveli hazırlanır. Yapılan işler metraj cetvelinde yer alan iş miktarları ile ihale sürecinde yüklenici tarafından teklif edilen birim fiyatlar çarpılarak hakediş hazırlanıp ödeme yapılır.

Oluşturulan geçici kabul komisyonunca yolun, tebliğ ve teknik şartnamede belirtilen esaslara ve sözleşme şartlarına uygun yapılıp yapılmadığı kontrol edilerek, geçici kabul tutanağı düzenlenip, yol yapım işi teslim alınır. Yolun kesin kabulü; oluşturulan kesin kabul komisyonunca süresi içinde yapılarak, yüklenicinin kati teminatının iadesi için kesin kabul tutanağı düzenlenir. Kesin kabul tutanağına göre kati teminat iade edilerek orman yolu yapım ve ödeme süreci tamamlanır.

### 1.1.2.1. Orman Yol Projeleri ve Uygulamadaki Durum

Orman yollarının projelendirilmesi esasları önceden klasik yöntemlerle yapılırken günümüzde, teknolojik gelişmelere paralel olarak bilgisayar destekli çizim programları yardımıyla yapılmaya başlanmıştır. Orman yolu projelendirme çalışmaları özetle aşağıdaki iş adımlarına göre gerçekleştirilir (Acar, 2005):

- Arazi verilerinin toplanması,
- Standart profiller,
- Projelendirme denemeleri ve değerlendirilmesi,
- Kazı ve dolgu hacimlerinin hesaplanması ve materyal profili,
- Materyal dağıtım tablosu,
- Yol yapım giderlerinin hesaplanması,
- Teknik rapor.

Ön proje, yol etüt ve proje mühendislik hizmetleri işinin durum, ihtiyaç ve finansman analizleri ile güzergâh etüdünün 1/25000 ölçekli harita üzerine işlenmesi sonucunda yol yapımının çevre ve ormanlar üzerine olumsuz etkilerini azaltmak veya yok etmek için alınacak önlemler ve fizibilite dahil elde edilen veriler kullanılarak 1/5000 ölçekli haritalar üzerinde en uygun güzergahın belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmaların tamamıdır. Orman yollarında ön proje, orman yol ağı planındaki kotlu yol güzergahının arazide etüt ve aplikasyonunun yapılması, zemin sınıfları, sanat yapıları, bağlantı yerleri, yol geometrik standartlarının belirlenmesi, arazinin topografik ve ekolojik yapısının, zemin ve mülkiyet durumunun incelenmesi, raporunun hazırlanması ve kazı hacimlerinin hesaplanmasıdır (OGM, 2008).

Kesin proje, yol etüt ve proje mühendislik hizmetleri işinin, 1/25000 ölçekli konum planı veya 1/5000 ölçekli ön projelerde belirlenen güzergâha ait 1/1000 ölçekli haritaların oluşturulması ve tespit edilen güzergâhların teknik özelliklerinin belirlenmesi için gerekli çalışmaların tamamıdır. Zemin etütleri ile klâs tayinleri ve oranları tam tespit edilebilen, uygulama projesi hazırlanan orman yollarında götürü bedel üzerinden ihale edilir. Zemin etütleri tam tespit edilemeyen veya kısmi tespit edilen ve bu nedenle uygulama projesi yapılamayan orman yollarında her bir kalem iş için birim fiyat teklifi almak suretiyle ihale yapılabilir (OGM, 2008).

Uygulama projesi, kesin projeye göre her türlü mühendislik yapılarına ait imalat öncesi ve imalata yönelik ayrıntıların belirtildiği paftaları kapsar. Orman yollarında; yol yapımı ile birlikte, zemin etütlerinin tam yapıldığı, köprü, sanat yapısı, dayanma yapıları, üst yapı ve diğer her türlü imalatın birlikte yapılıp uygulandığı projeleri kapsar (OGM, 2008).

Uygulamada, zemin etütleri ile klas tayinleri ve oranları tam tespit edilemediğinden veya kısmen tespit edilebildiğinden uygulama projesi hazırlanamamakta ve orman yolları birim fiyat teklifi esas alınarak ihale yapılmaktadır (Karabacak, 2010; Turk ve Gumus, 2017).

Orman yollarının planlanması, yapımı ve bakımı ile ilgili yürürlükte olan 292 sayılı tebliğde dikkat edilmesi gereken önemli esaslar şu şekilde sıralanmıştır (OGM, 2008):

- Ana ve A tipi tali orman yollarının araştırma, etüt-aplikasyon ile yaklaşık maliyet ve hakedişlere esas hacim hesabı işleri, boyuna ve enine profil alınıp çizilerek klasik metotla veya doğruluğu ve güvenilirliği kesin kabul görmüş diğer teknik yöntemler kullanılarak yapılabilir.
- B tipi tali orman yollarında çok özellik arz eden, uzun mesafeli ve yüksek sınıfları olanların ihale ile özel sektöre yaptırılması durumunda araştırma, etüt-aplikasyon, kesit alanı ve hacim hesabı düzenlenmesi işleri klasik metotla veya doğruluğu ve güvenilirliği kesin olan diğer teknik ve yöntemlerle yapılır.
- Orman yol ağı planlarında bulunmayan hiçbir yolun etüt-aplikasyonu yapılmamalıdır.
- Etüt-aplikasyonun gerektirdiği araştırma ve giderlerden kaçınılmamalıdır.
- Etüt-aplikasyonu ve güzergâh temizliği yapılmamış yollara yapım makineleri verenler ile bunları çalıştıranlar sorumlu tutulur.

Günümüzde uygulamada olan 292 sayılı tebliğde yaklaşık maliyet düzenlenmesi, maliyet hesabı evrakı, orman yolu yapım işlerinde kazı hacminin hesabı ve kesin hakediş evraklarının dayanakları ile ilgili açıklama ve esaslar şunlardır:

- Yaklaşık maliyetin düzenlenmesi; mal ve hizmet alımı ile yapım işlerinde yaklaşık maliyet evrakının düzenlenmesi zorunludur. Yaklaşık maliyet hesabının girdilerini oluşturan ancak ölçü ve verileri doğru alınmayan, projesi hazırlanmayan hiç bir yolda inşaat faaliyeti yapılmaz. Gerekli hallerde, yol planı ve proje onayı, program ve ödenek aktarımı oluru, ilgili makamlardan alındıktan sonra uygulamaya başlanır.
- Maliyet hesabı evrakı; etüt karnesi, metraj cetveli, birim fiyat cetveli, tutanak, teknik

rapor, kroki ve maliyet hesap cetvelinden oluşur.

- Orman yolu yapım işlerinde kazı hacminin hesabı; inşa edilecek veya inşa edilmiş yollarda, kazı hacimlerinin hesabı yöntem ve formatına uygun olarak yetkililerince düzenlenir.

Hakedişe esas olan ölçüler, yol inşaatı sonucu ortaya çıkan kazı hacmidir. Arazide inşa edilen yol üzerinde yamaç eğimi, kazı sınıfı, arazi şekli, sınıf karışım oranı değişen belirgin noktalarda veya en fazla 30 m' de bir en kesit kazı alanları; doğruluğu ve güvenilirliği kesin kabul görmüş yöntemlerden herhangi biri uygulanır. Trigonometrik hesaplar, grafik ve trapez çizimi yöntemi (yamuk kuralı), enine ve boyuna profil alınarak yapılan hesaplar ile bulunabileceği gibi, arazinin yuvarlatılmış eğimine göre kazı en kesit alanlarının ( $m^2$ ) hesaplandığı tablolardan da alınabilir. En kesit alanlarının ve kazı boyunun ölçülmesinde hassas ölçümler yapılarak ve ölçüm sonuçları ilgili belgelerine işlenerek, yüklenici ile işveren tarafından müşterek imzalanmalıdır.

- Arazinin klizimetre, lata veya diğer aletlerle ölçülmüş ve yuvarlatılmış eğimine göre kazı miktarının  $m^2$  cinsinden alanı doğrudan doğruya tablolardan alınabilecektir. Yüksek eğimli arazide ve birim fiyatların yüksek olduğu arazi sınıflarında kazı hacmi enine ve boyuna profili çizilerek hesap edilmelidir.
- Aynı en kesitte farklı sınıfların bulunması halinde karışım alanları ve hacimleri doğru ve hassas ölçülmelidir.
- Hesaplarda dolgu ve toprak taşımaları hesaba dahil edilmeden, yalnız kazı miktarları dikkate alınmalıdır.
- Keşif evrakına, yolun uygulanan güzergâhını ve bu güzergâh üzerindeki varsa köprü yerlerini ve ortalama eğimlerini gösterir bir kroki eklenir.
- Kazıklar arasında değişik sınıflardaki zemin söz konusu ise bunlardan en fazla olan sınıftaki zemin cinsi için tablodan en kesit alanı alınır.
- Yaklaşık maliyet hesaplarında, analizlerden çıkarılan birim fiyatlar veya aynı ve benzer işler yapan diğer kamu kurum ve kuruluşlarından Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ihaleli işler birim fiyatları, birim fiyat listesi ve tarifeleri göz önüne alınır.
- İdare tarafından veya ihale ile yaptırılacak yol inşaatlarında, yol güzergahındaki ağaçların üretimi, inşaat sahası dışına nakli, istif gibi işler idare tarafından üretim masraflarından karşılanmakta olduğundan birim fiyatı analizlerinde ilgili pozlarda bu

işler için belirlenen miktarlar ile düz işçi masrafları birim fiyata dahil edilmez.

- Kesin hakediş evrakının dayanakları etüt karnesi, metraj cetveli, teknik birim fiyat cetveli, ölçü tutanakları, hakediş evrakı, rapor ve ekleridir.

### **1.1.3. Kazı ve Dolgu Hacimlerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler**

#### *1.1.3.1. Arazi Ölçüm Yöntemleri*

Orman yolları yapımında yol yapım maliyetini oluşturan bileşenlerin en önemlisi kazı işleridir (FAO, 1992). Klasik yöntem olarak orman yol inşaatı kazı miktarı belirlenirken 292 sayılı tebliğde belirtilen şekilde, ölçümün yapılacağı kazı en kesit alanlarının doğru ve güvenilir çeşitli yöntemlerle veya üçgen ve trapezlere ayrılmış alanlarının toplamı yöntemi ile ya da yamaç eğimine göre tablolardan veya hacim profillerinden faydalanılarak yapılmaktadır. Bulunan iki komşu en kesit alanının ortalamasının, bu en kesitler arasındaki mesafe ile çarpmak suretiyle kazı hacmi hesaplanır. Orman yolu inşaatında kazı hacmi miktarı hesaplamaları yapılırken, 292 Sayılı Tebliğde (Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı) belirtilen şekilde arazi ölçüleri ile gerçekleştirilir (Şekil 1.4). Ölçülen kazı yükseklikleri yolun geometrik özelliklerine göre hazırlanmış tablolarda hangi yamaç eğimine karşılık geldiği bulunur. Yamaç eğimi esas olmak üzere hazırlanan tablolardan kazı hacimleri hesaplanır. Yol inşaat alanında kazı alan hesabı basit olarak üçgen alan hesabından faydalanılarak yapılır.



Şekil 1.4. Hakediş metraj cetvellerinin oluşturulması için yapılan arazi ölçümleri.

Kazı hacmi hesabında kullanılan diğer yöntemler ise nivo, total staion ve cors GPS'dir (Şekil 1.5). Elektronik aletler ile yapılacak hacim hesabında yol inşaat kazısından önce ve kazıdan sonra yoğun bir arazi çalışması gerektiğinden yaygın olarak kullanılmamaktadır.

Nivo ile yapılacak nivelman hesabında inşaattan önce alana gidilerek yolun başlangıç noktasından bitişine kadar her seviye kazığı noktasında alet tekrar kurulup önceki nokta ve sonraki noktada mira okuması yapılarak not alınır. Yolun kazı işleminden sonra da aynı işlemler tekrarlanarak elde edilen veriler değerlendirilip kazı miktarı bulunmuş olur. Total station ile kazı hesabında arazide yol güzergahını gören bir noktaya veya alana hâkim bir noktaya alet kurularak birden fazla jalon ile nivoya kıyasla daha fazla nokta okuyarak noktaların X, Y ve Z değerleri kayıt altına alınır. Kazı öncesi-sonrası yapılan

ölçüler farkından kazı miktarı hesaplanmış olur.

Nivo ve Total Staion ile yapılacak kazı miktarı hesabında her seviye kazığı noktasında alet yeniden kurulup ölçü yapılacağından süre ve iş yükü bakımından tercih edilen ve kullanılan bir yöntem değildir.

Cors GPS ile kazı miktarı belirleme yöntemi yolun başlangıç noktasından itibaren her seviye noktasında ve platform üzerinde yol geçkisinden daha sık nokta alarak her noktanın X, Y ve Z değerleri kaydedilir. Cors GPS yöntemi nivo ve Total Station ile yapılan kazı hesabı yöntemine göre daha pratik bir yöntem olmasına rağmen, meşcere kapalılığı, hava durumu ve yakınlardaki baz istasyonu gibi durumlardan fazlaca etkilendiğinden dolayı orman yol yapım işlerinde tercih edilen bir yöntem değildir.



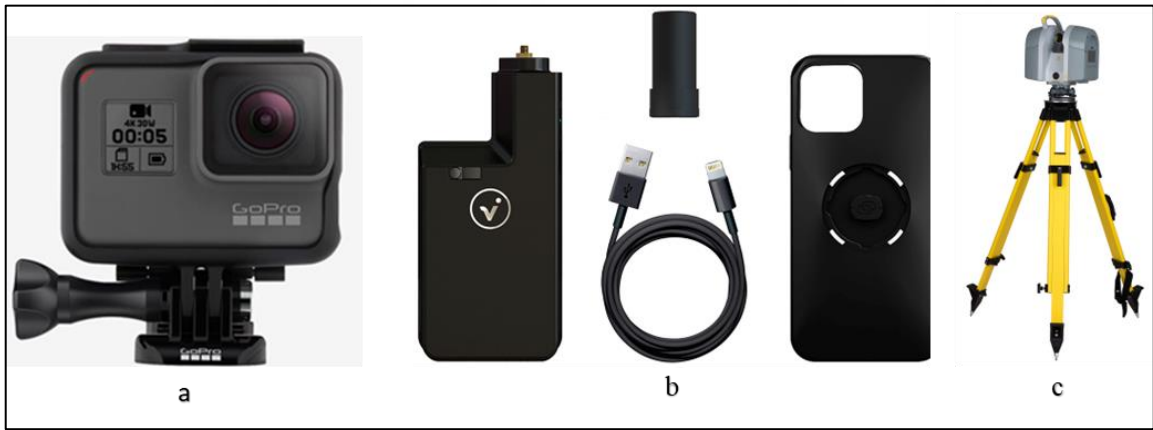
Şekil 1.5. Yersel ölçüm aletleri a) Mira ve Nivo, b) CORS GPS, c) Reflektör ve total staion.

Kazı hacminin bulunmasında kullanılan diğer bir yöntem ise lazermetre cihazında yer alan, kesit alan bulma menüsü ile belirlenen profil noktalarında kesit alan hesaplanmaktadır (Turk, 2019). Daha sonra iki profil noktasında bulunan alan ortalaması, ara uzaklıkla çarpılarak kazı hacmi bulunmektedir. Bu yöntemde kazıda kalan yol genişliğini tespit etmek önemli olup tecrübe gerektiren bu durumdur.

### 1.1.3.2. Fotogrametrik Yöntemler

Orman yolu kazı ve dolgu şevleri hacimlerinin belirlenmesine ilişkin fotogrametrik yöntemlerin kullanıldığı çalışmalar sınırlı sayıdadır. Materyal değişiminin yani kazı ya da dolgu miktarının hesaplanmasında İHA teknolojisi kullanılmaktadır (Buğday, 2018; Gülci ve Kılınç 2019; Gül, 2019; Kun ve Özcan 2019; Ozcelik ve diğ., 2021; Turk ve diğ., 2022). 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 kullanılabilirliğini vurgulamıştır. Yapılan çalışmalarda materyal hacmi tespit edilecek alan değişimden önce ve sonra İHA ile uçulmaktadır. Daha sonra uçuş görüntülerinden elde edilen SYM farkları ile materyal hacmi hesaplanmaktadır.

İHA teknolojisi dışında otomatik veri toplama teknolojileri; arazi yüzeyini fotoğraf çekerek, video çekerek veya sayısallaştırma aracılığıyla görüntüleme ve farklı uzaktan algılama sensörleri (non-contact) (lazer, akustik ve kızılötesi) kullanarak materyal hacmi hesaplanmaktadır (McGhee, 2004). Günümüzde yersel lazer tarayıcılar, elde taşınabilen ve akıllı cihazla uyumlu 3D cihazlar (viDoc RTK), GPS entegreli kameralar ile materyal hacimleri hesaplanabilimektedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Yersel fotogrametrik yöntemler: a) GPS entegreli kamera b) viDOC RTK tarayıcı c) Yersel lazer tarayıcı.

## 1.2. İHA SİSTEMLERİ

Günümüzde uydular ve insanlı hava araçları, uzaktan algılama görüntülerinin elde edilmesinde kullanılan önemli sistemlerdir. Fakat bu sistemlerin bizlere sunmuş olduğu avantajlarının yanında çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. İHA' ların ise kullanım ve

sonrası maliyetlerinin düşük olması, ağırlıklarının daha az olması ve düşük uçuş hızlarında görüntü alabilmelerinin yanı sıra yüksek irtifalardan görüntü alımı yapan uçak ve uydu sistemlerinin aksine aynı amaçla bulutlu havalarda kullanılabilmesi 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).

Son yıllarda uzaktan algılama çalışmalarında İHA kullanımını 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).

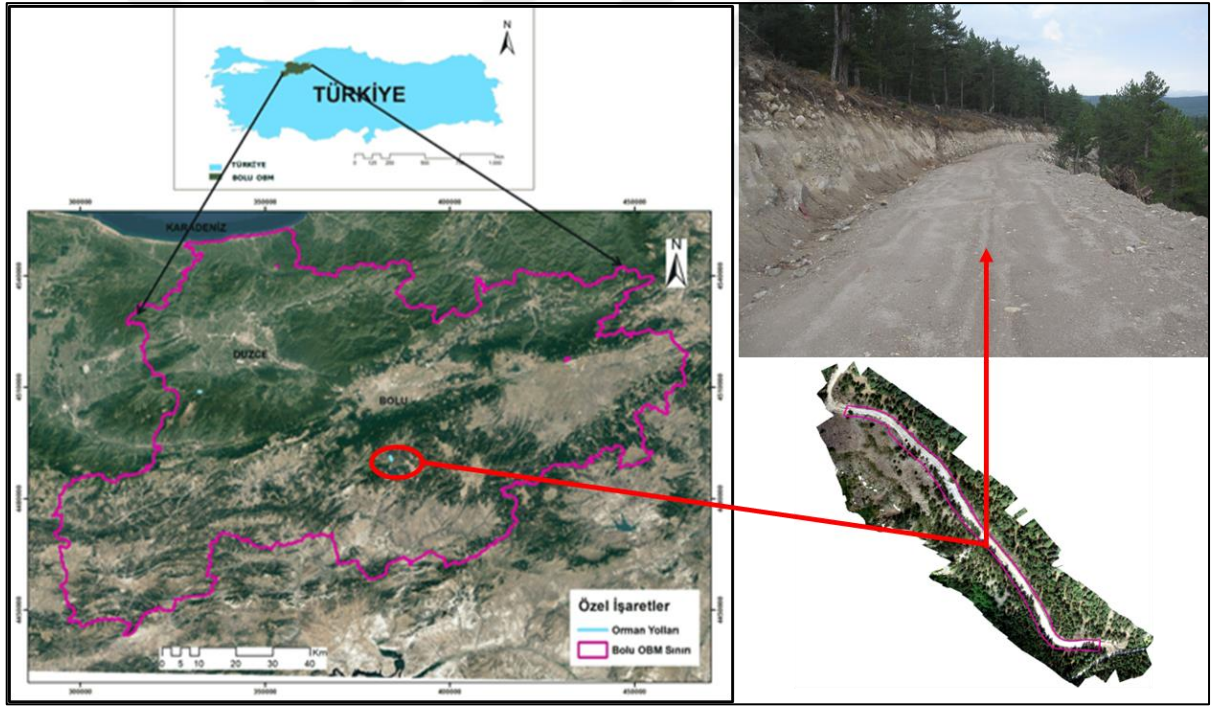
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. MATERYAL

#### 2.1.1. Araştırma Alanı

##### 2.1.1.1. Yeri (Mevkii)

Çalışma alanı olarak belirlenen Taşlıyayla Orman İşletme Şefliği Batı Karadeniz Bölgesi, Bolu ili, Seben İlçesi sınırları içerisinde kalmaktadır. Şeflik orman idaresi bakımından, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü (OBM), Seben Orman İşletme Müdürlüğü'ne (OİM) bağlı Taşlıyayla Orman İşletme Şefliğine (OİŞ) bağlıdır.

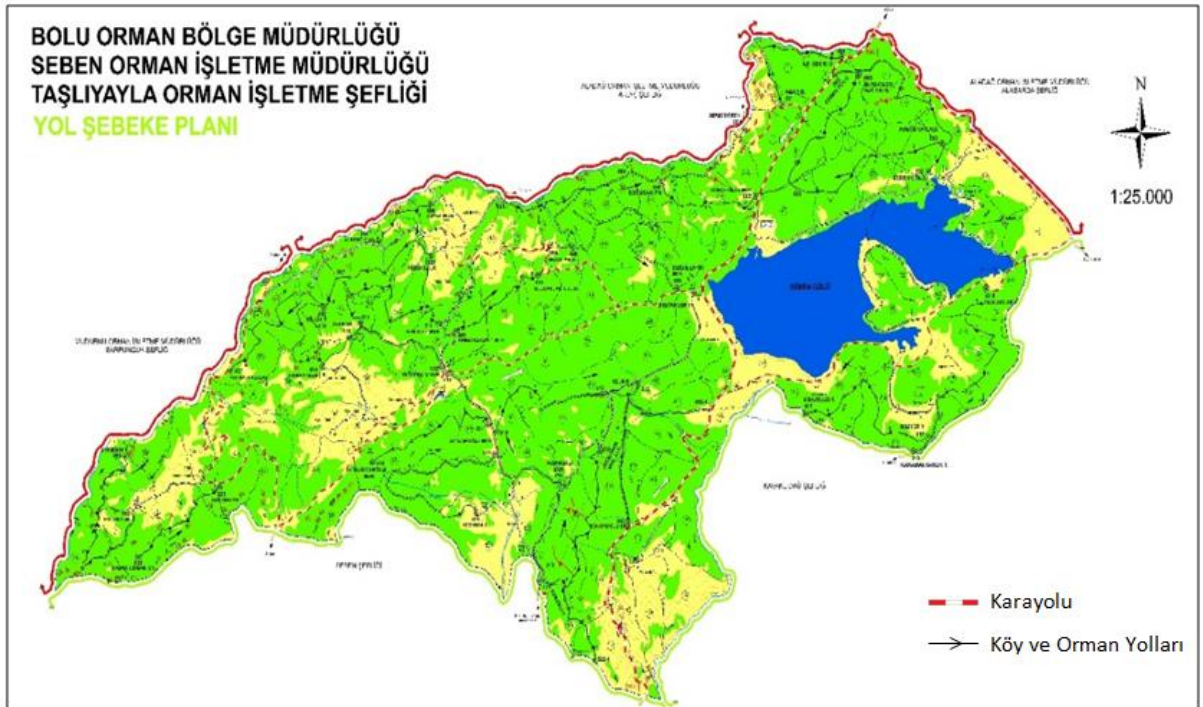


Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresi.

Tez çalışması kapsamında, üretim ve rekreasyonel (Seben Gölü, Kozyaka Mesire Alanı ve Taşlıyayla Ekoturizm Alanı) araç kullanımına açık olan 3+700 km'lik 001 kodlu B Tipi orman yolunun 640 m'lik kısmı seçilmiştir (Şekil 2.1). Çalışma alanı olarak belirlenen yolda çalışmanın yapılacağı kısma ait yolun boyuna eğimi ortalama %5 ve genel bakışı batıdır. Çalışma alanının ortalama yükseltisi 1400 m'dir.

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

Taşlıyayla Orman İşletme Şefliğinin toplam yüzölçümü 10309,7 hektardır. Toplam 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 (Anonim, 2018).



Şekil 2.2. Çalışma alanı orman yol ağı haritası.

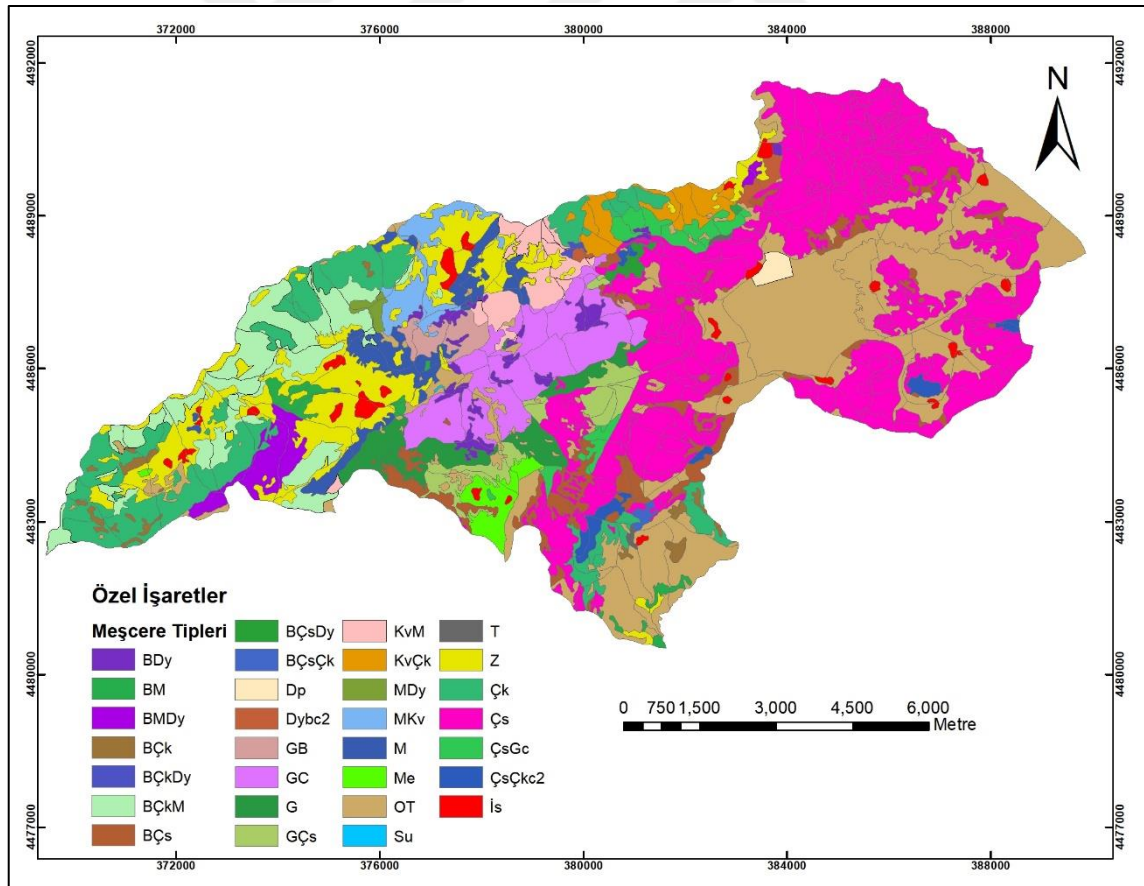
### 2.1.1.3. Çalışma Alanı İklim ve Bitki Örtüsü

Seben meteoroloji istasyonundan elde edilen iklim verilerine göre çalışma alanının yıllık ortama sıcaklığı 11,7 °C, yıllık ortalama yağış miktarı 438,7 mm'dir. Çalışma alanına ait meteorolojik özelliklerin aylara göre değerleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Çalışma alanının 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. Alanın bitki örtüsü 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 Gökarnarı (*Abies nordmanniana* subsp. *Bornmülleriana* Mattf), Sapsız Meşe (*Quercus petraea*), Kavak (*Populus*)

oluşturmaktadır. Tez çalışma alanında 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. Sıc. (°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. Sıc.(°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. Sıc.(°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. Kullanılan Araç ve Gereçler

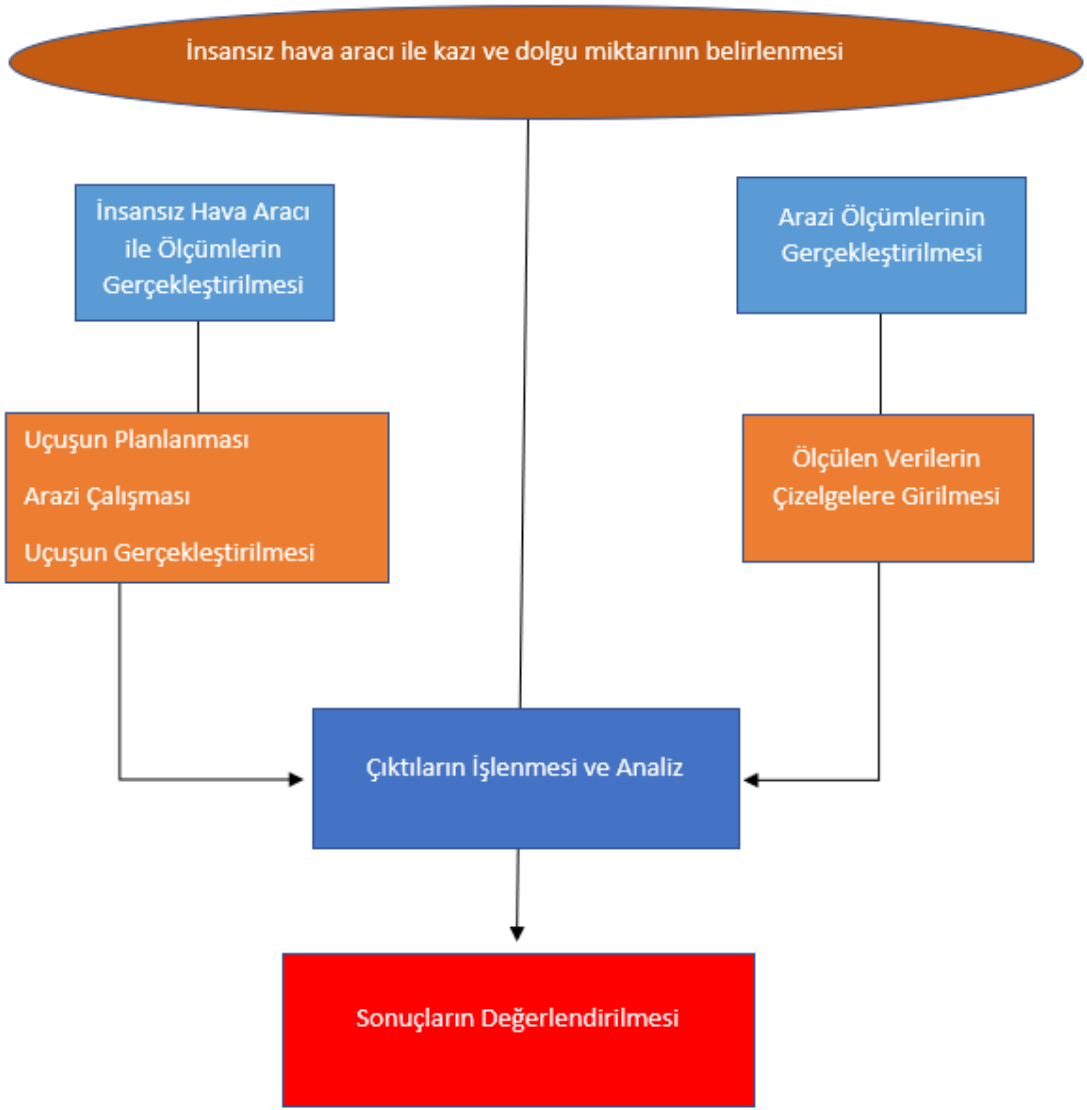
Çalışmada ilk uçuş yol inşaatından önce Nisan 2019 tarihinde, DJI Mavic Pro modeli ile ikinci uçuş ise yol inşaatından sonra Eylül 2020 tarihinde DJI Phantom 4 RTK sistemi olmak üzere iki platform kullanılmıştır. İkinci uçuşta DJI Phantom 4 RTK sisteminin tercih edilmesi, iş yükünün daha az ve daha hassas veri elde etmek içindir (Şekil 2.4). DJI Mavic Pro model, entegre 12 mega-piksel çözünürlüklü kameraya sahip kullanıma hazır İHA-1 kategorisindedir. DJI Phantom 4 RTK İHA 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 (global navigation satellite system, GNSS) alıcısına sahiptir. Ayrıca çalışmada yer kontrol noktalarının (YKN) ölçümünde CHCN X91 GNSS alıcısı kullanılmış ve cihazla yatayda ve düşeyde 1-2 cm hata ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. İHA Sistemleri ve CHCN X91 GNSS uydu alıcısı: a) DJI Phantom, b) DJI Mavic Pro, c) CHCN X91 GNSS uydu alıcısı, d) DJI Mavic Pro uzaktan kumandası.

#### 2.1.1.5. İş Akış Şeması

Çalışma alanında insansız hava aracı ile orman yolunda kazı ve dolgu hacminin belirlenmesi ile ilgili iş akış şeması aşağıda verilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. İş akış şeması.

## 2.2. YÖNTEM

### 2.2.1. İHA Sistemi ile Sayısal Görüntülerin Alınması

İHA ile görüntü alımına ait işlemlerin temel adımları; arazi öncesi hazırlık, uçuş planlarının hazırlanması, arazi çalışması ile uçuşun gerçekleştirilmesi ve uçuş sonrası işlemlerdir (Eker ve diğ. 2018). Arazi öncesi hazırlık safhasında, alana hareket etmeden önce hava koşulları ve ilgili alanın topografyası gibi bazı gerekli ön bilgilerin elde edilmelidir. İHA ile uçuşun gerçekleştirilmesindeki optimum hava koşulları rüzgâr ve yağışın olmadığı bulutlu bir gökyüzü olarak ifade edilmektedir (Lindner ve diğ., 2016; Eker ve diğ., 2018).

Çalışmada ilk uçuş yol inşaatından önce 17.04.2019 tarihinde ve ikinci uçuş yol inşaatından sonra 13.09.2020 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Birinci uçuş DJI Mavic Pro modeli ile tıraşlama yapılan yol inşaatı alanı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uçuş sabit 1,5 cm yersel çözünürlüklü olarak görüntü alımına imkân verecek şekilde adaptif olarak ve UgCS 2.18.98 uçuş planlama yazılımı kullanılarak planlanmıştır. Bu kapsamda %75 ön ve yan bindirmeli olarak, 80 m AGL (above ground level /yer seviyesinin üstünde) yer seviyesinden yükseklikte uçuş planı oluşturulmuştur.

İkinci uçuş diğer İHA platformu olan DJI Phantom 4 RTK sistemi ile yol inşaatı bittikten sonra uçuş gerçekleştirilmiş olup, uçuş planlama işlemi DJI Phantom 4 RTK sisteminin kumandasından DJI GS RTK uygulaması ile oluşturulmuştur. Bu kapsamda öncelikle Global Mapper yazılımında sahanın SYM verisi (SRTM DEM 30 m 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 %75 ön ve yan bindirme oranları ile topografya adaptif uçuş ve 100 m AGL (above ground level) yer seviyesinden yükseklikte yapılacak şekilde planlama gerçekleştirilmiştir.

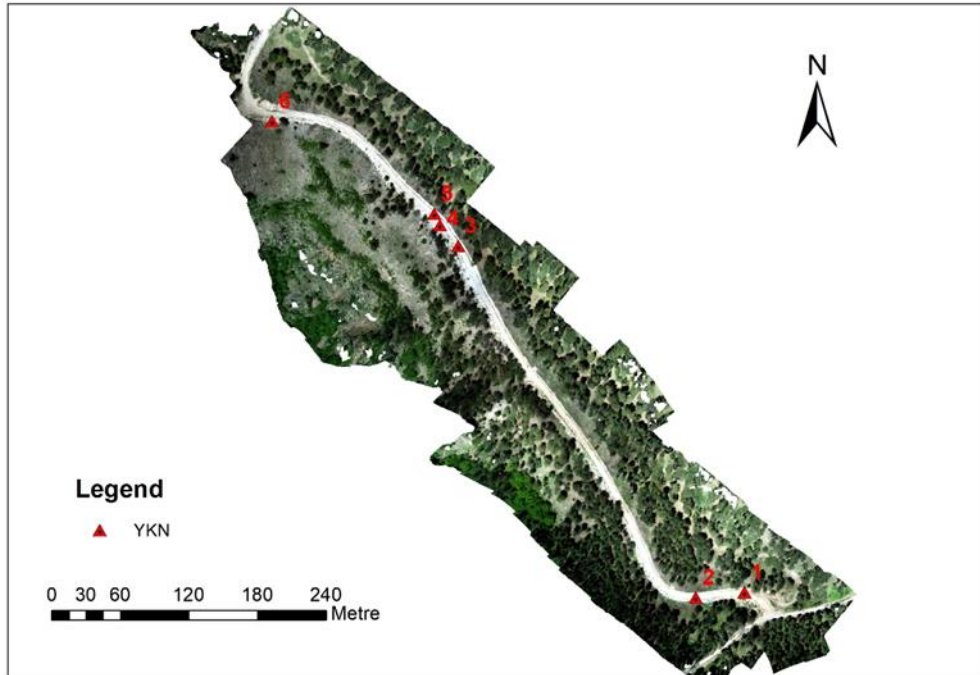
Arazide her iki İHA platformu uçuşunun gerçekleştirilmesinden önce yol platformu üzerine İHA ile alınacak görüntülerde belirgin şekilde görülecek şekilde 6 Adet YKN applike edilmiştir. Yol platformu üzerine kırmızı spreyci boya ile applike edilen her bir YKN'nin TUREF TM33 koordinat sisteminde X, Y ve Z koordinatları, CHCN X91 GNSS alıcısı ile yatayda ve düşeyde 1-2 cm hata ile ölçülmüştür (Şekil 2.6). Çizelge 2.3'te ölçülen koordinat bilgileri verilmiştir. Şekil 2.7 ise YKN konumları görülmektedir. YKN'lerin araziye uygulamasının tamamlanmasının ardından uçuşlar gerçekleştirilmiştir



Şekil 2.6. YKN'lerin alana apliance edilmesi ve RTK-GNSS alıcı ile koordinatlarının ölçülmesi.

Çizelge 2.2. YKN olarak kullanılan koordinatlar.

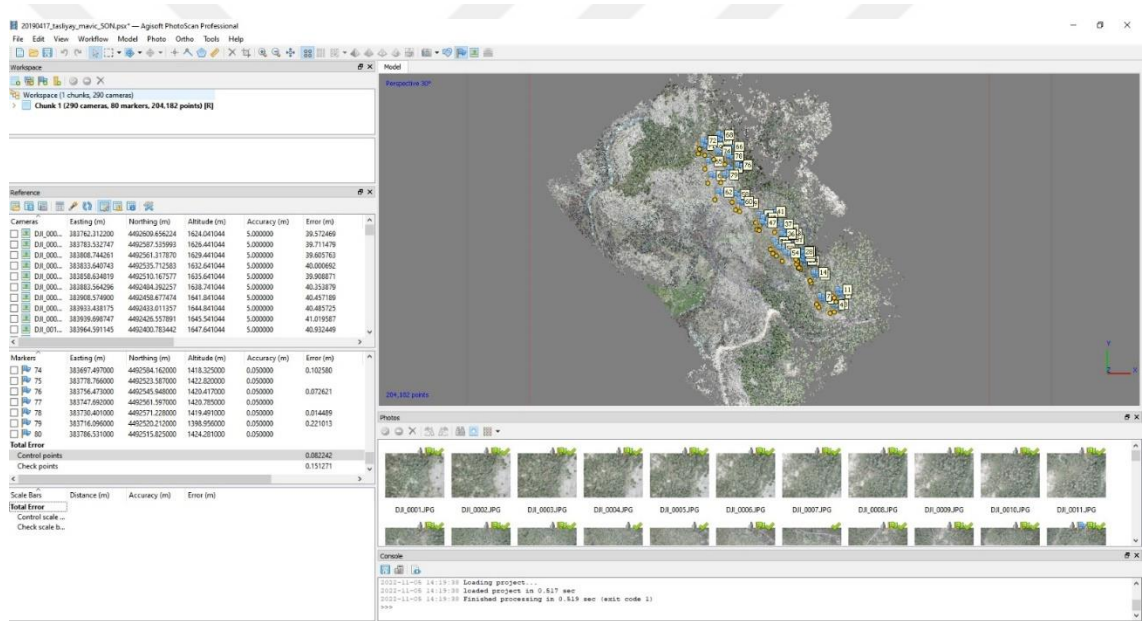
No	X	Y	Z
1	384078.793	4492122.131	1432.204
2	384063.934	4492144.525	1430.603
3	383823.869	4492456.324	1423.378
4	383808.685	4492474.878	1422.572
5	383803.806	4492484.865	1421.971
6	383664.836	4492570.939	1416.441



Şekil 2.7. Arazide ölçülen YKN konumları

## 2.2.2. İHA ile Alınan Sayısal Görüntülerin İşlenmesi

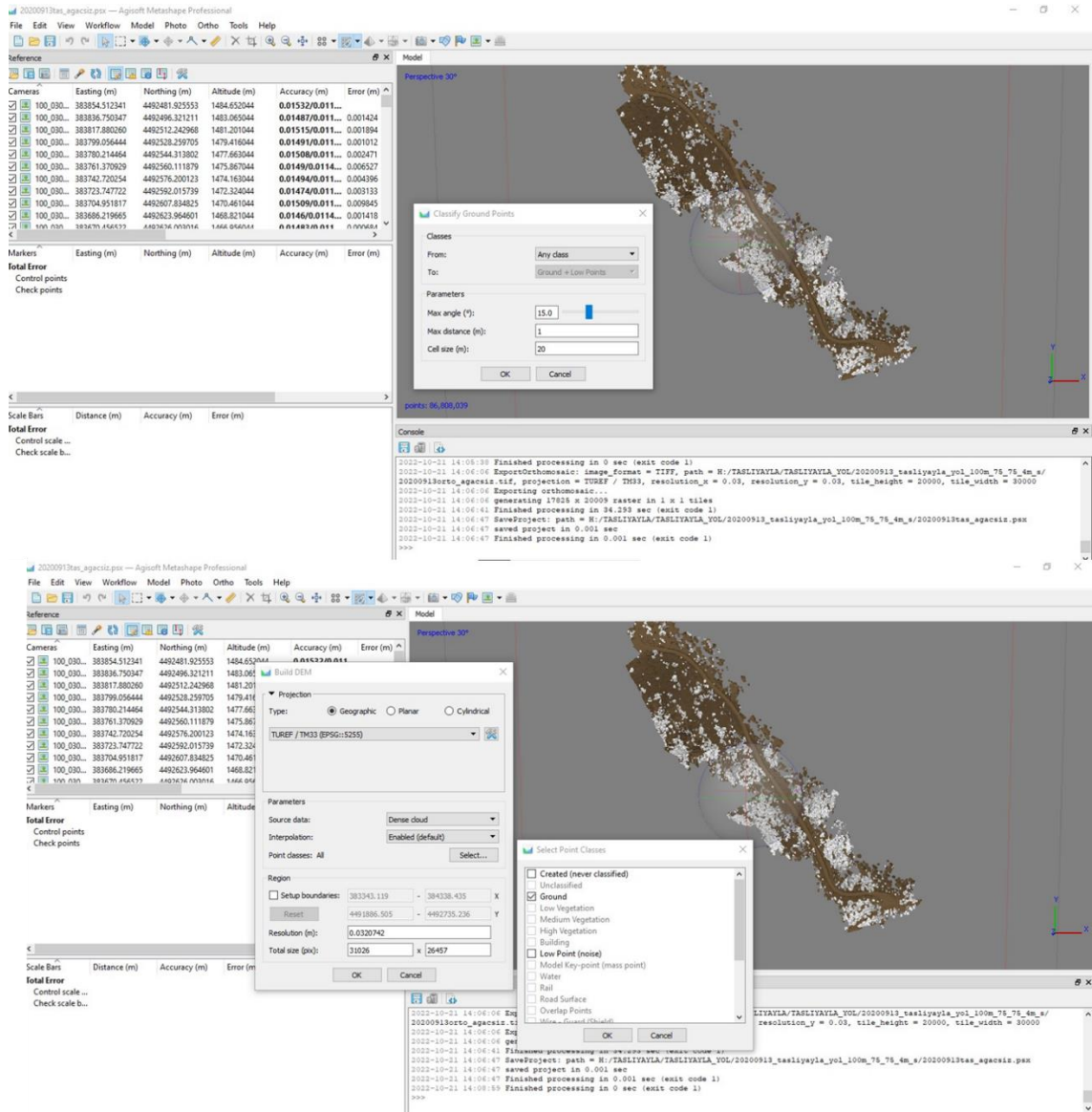
Uçuş sonrası ofis çalışmaları kapsamında ise İHA ile alınan görüntülerin işlenerek yüksek çözünürlükte ve doğrulukta nokta bulutu, SYM ve ortofoto görüntüsü üretilmesinde Agisoft Metashape Professional Version 1.5.2 yazılımı kullanılmıştır (Şekil 2.8). Yazılım Windows 10 64-bit İşletim Sistemi üzerinde çalıştırılmıştır. Görüntü yönlendirme işlemi doğruluk seviyesi orta (medium) olarak ayarlanmışken, diğer derinlik haritaları üretimi (depth maps), yoğun nokta bulutu (dense cloud) üretimi aşamalarında kalite ayarları yüksek (high) olarak seçilmiştir. İHA verilerin işlenmesi, görselleştirilmesi ve analizlerinin yapılmasında; Intel® Xeon® CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz 48 GB işlemci modeli ile 4 GB AMD FirePro W5100 ekran kartı teknik özelliğine sahip iş istasyonu kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Agisoft Photoscan Professional version 1.5.2 yazılımında verilerin işlenmesi.

İlk uçuş GNSS uçtuğundan YKN tanımlanmış, ikinci uçuşta YKN'ler sadece modelin coğrafi referanslanması hatasının temin edilmesinde kontrol noktası olarak kullanılmıştır. Görüntülerin fotogrametrik analizi sonucu üretilen çıktılar “.las” formatında yoğun nokta bulutu verisi, “.tiff” formatında SYM ve ortofotolardır. Daha sonra analizlerde alansal tutarlılık sağlanması için “.shp” formatında çalışma alanını temsil eden bir vektör veri kullanılarak bütün SYM ve ortofotolar aynı boyuta indirgenmiştir. Ayrıca çalışma alanında orman örtüsü bulunduğu için materyal hacminin daha hassas hesaplanması için yoğun nokta bulutu (dense cloud) üretimi aşamasından sonra Agisoft yazılımında zemin

sınıflandırması (Classify Ground Point) yapılarak SYM ve ortofoto bitki örtüsüz üretilmiştir (Şekil 2.9).



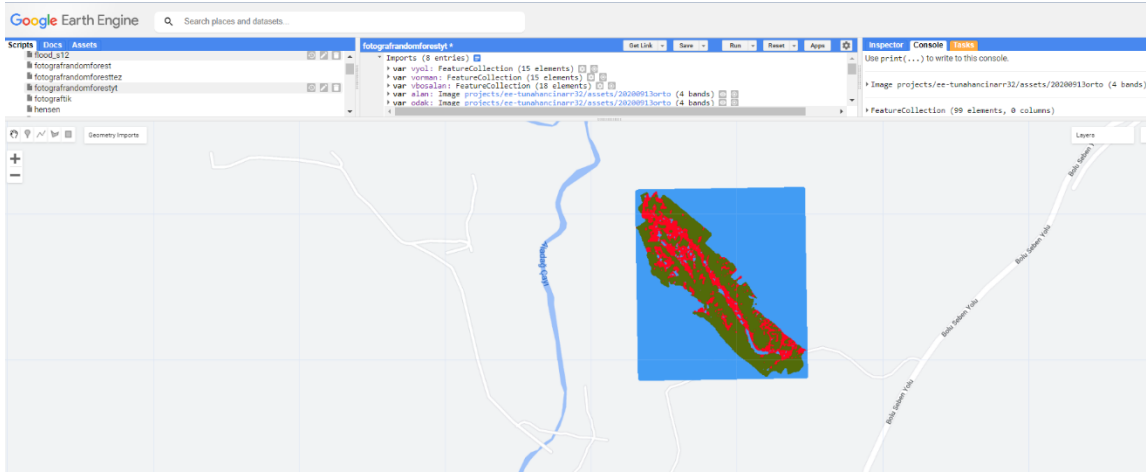
Şekil 2.9. Agisoft Photoscan Professional version 1.5.2 yazılımında zemin sınıflandırması.

### 2.2.3. Yolun Geometrik Özelliklerinin Arazide Belirlenmesi

Tez çalışmasına konu yolun inşaatı tamamlandıktan sonra yolun geometrik özelliklerine ilişkin ölçümler yapılmıştır. Bunlar; yolun boyuna eğimi, yol genişliği, kazı şevi yüksekliği ve eğimi gibi özellikler ölçülmüştür. Ayrıca zemin klasları da gözlemlenmiş ve not alınmıştır. Ölçüm ve gözlemler yol en kesiti üzerinde 20 m aralıklarla yapılmış ve alınan bu veriler önceden hazırlanan arazi karnesine kaydedilmiştir. Ayrıca eğimler eğimölçer ile uzunluk ölçümleri şerit metre ile yapılmıştır.

Zemin sınıflarının belirlenmesinde kullanılan diğer yöntem ise Google Earth Engine platformunda (Şekil 2.10) JavaScript kodlama dili kullanılarak yapılmıştır. Platformda ikinci uçuş verisinden üretilen ortofoto görüntüsünde yararlanılmıştır.

Google Earth Engine platformuna bakıldığında uydu görüntülerini daha kolay bir şekilde elde etme olanağı sunmaktadır (Xiong ve diğ., 2017). Bununla birlikte verileri bulut tabanında işlenmesine olanak sunmakta olup petabayt ölçeğinde verilerin elde etmesine imkân sunduğundan dolayı daha işlenen görüntülerin daha kolay elde edilmesine imkân sağlamaktadır. Bunun yanında JavaScript ve Python kodlama dillerinin kullanımına olanak sağlamaktadır (Agapiou, 2017). Platformun ara yüzünde çalışma dosyalarının tutulduğu, işlendiği ve sonuç dosyalarının bulunduğu alanlar bulunmakta olup sonuç dosyalarının saklandığı platform ile bağlantılı çalışmaktadır (Tamiminia ve diğ., 2020).



Şekil 2.10. Google Earth Engine platformu ara yüzü.

Elde edilmiş olan görüntü Random Forest (RF) ile sınıflandırılmıştır. Random Fores'a bakıldığında genel anlamda karar ağaçlarında en fazla tercih edilen yöntemdir. Uzaktan algılamada da çok fazla tercih edilmekte olup ormanlık alanlarda Pixel bazlı sınıflandırmada çok fazla kullanılmaktadır (Breiman 1999; Breiman 1996). Random Fores algoritması Gini İndeksine dayanmaktadır. Gini İndeksi bir öz niteliğin sınıflara göre saflığını ölçmekte belirli bir eğitim kümesi  $T$  için rastgele piksel seçilmesi ile  $C_i$  ve  $C_j$  sınıfına ait olduğu söylenmektedir. Gini indeksine bakıldığında;

$$\sum \sum_{j \neq i} (f(C_i, T)/|T|)(f(C_j, T)/|T|) \quad (1.1)$$

$(f(C_i, T)/|T|)$  seçilmiş olan durumların  $C_i$  ye ait olma olasılığıdır. Formülde gösterilen farklı bir durum olan  $(f(C_j, T)/|T|)$  ise  $C_j$  ye ait olma olasılığını göstermektedir. Bu

durumdan dolayı seçilen her bir farklı durumu kendi içerisinde farklı sınıflara tabi tutmaktadır (Breiman ve diğ., 1984; Pal, 2005).

Doğruluk değerlendirmesi aşamasında KAPPA analizinden yararlanılmıştır. KAPPA analizine bakıldığında doğruluk değerlendirilmesinde en fazla kullanılan teknikler arasındadır (Foody, 2020). KAPPA analizi uyuşma ve doğruluk ölçüsü olan KAPPA tahmini vermekte olup analizle ilgili doğruluk bilgilerini elde etme aşamasında uygulanmaktadır (Congalton, 1991; Rwanga ve Ndambuki, 2017). KAPPA analizinde uygulanan formüle bakıldığında;

$$\kappa = \frac{\text{Pr}(a) - \text{Pr}(e)}{1 - \text{Pr}(e)} \quad (1.2.)$$

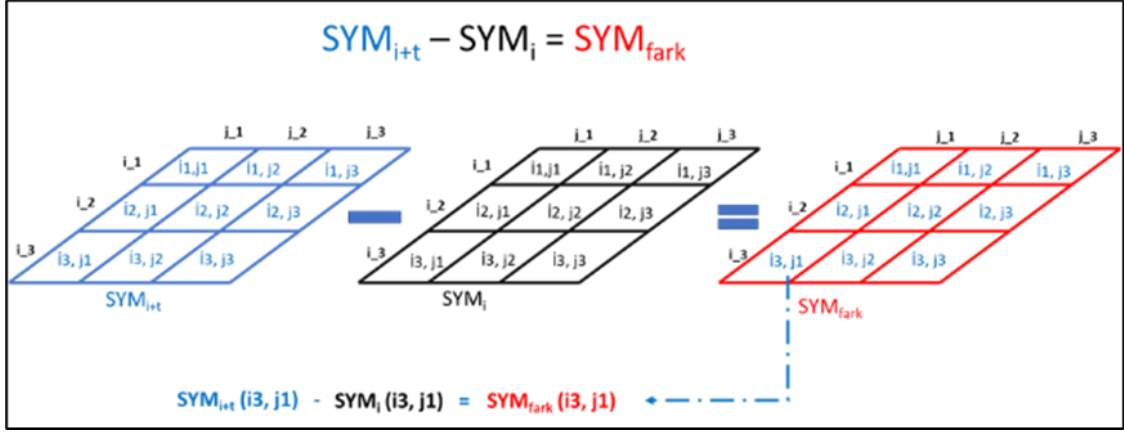
Formülde  $\text{Pr}(a)$  iki gözlemlenen uyuşmaların oranı veya toplam doğruluk,  $\text{Pr}(e)$  bu eşleşmenin rastgele ortaya çıkma olasılığı yani rastgele doğruluk olarak tanımlanmaktadır (Gwet, 2010; Gwet, 2001; Sim ve Wright, 2005).

#### **2.2.4. Kazı ve Dolgu Hacminin Belirlenmesi**

##### *2.2.4.1. İHA Verilerinden Kazı ve Dolgu Hacminin Belirlenmesi*

Çalışmada kazı ve dolgu hacminin belirlenmesi amacıyla SYM farkları yöntemi kullanılmıştır. SYM bu işlemde raster formatta üretilen SYM verilerini oluşturan her bir pikselin değeri (SYM de bu değer deniz seviyesinden olan yüksekliktir) zaman serisindeki diğer SYM'lerin örtüşen (üst üste binen) pikselin değerinden çıkarılması şeklinde uygulanmaktadır. SYM farkları ilk uçuş verisi baz alınarak ikinci uçuştan çıkarılmıştır (Şekil 2.11).

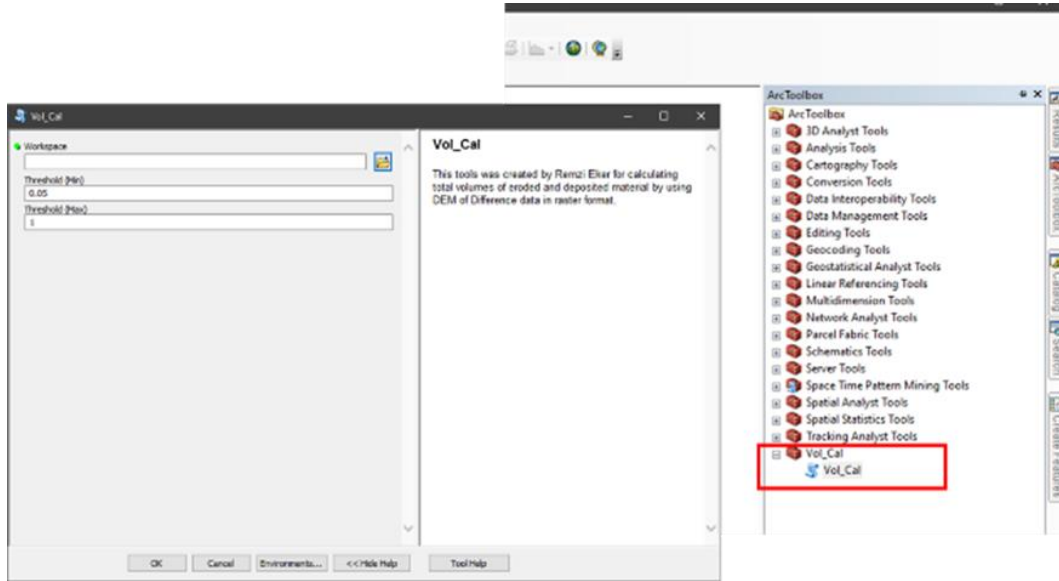
Üretilen Fark SYM verisinden çalışma alanı sınırları kesilip çıkarılmıştır. Daha sonra kazı ve dolgu hacim ve alanı belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Hacim ve alanın belirlenmesi için Python programlama dili ile ArcGIS yazılımı ArcMap modülü içerisinde bir araç kutusu şeklinde bir eklenti tasarlanmaktadır (Türk ve diğ., 2022) (Şekil 2.12).



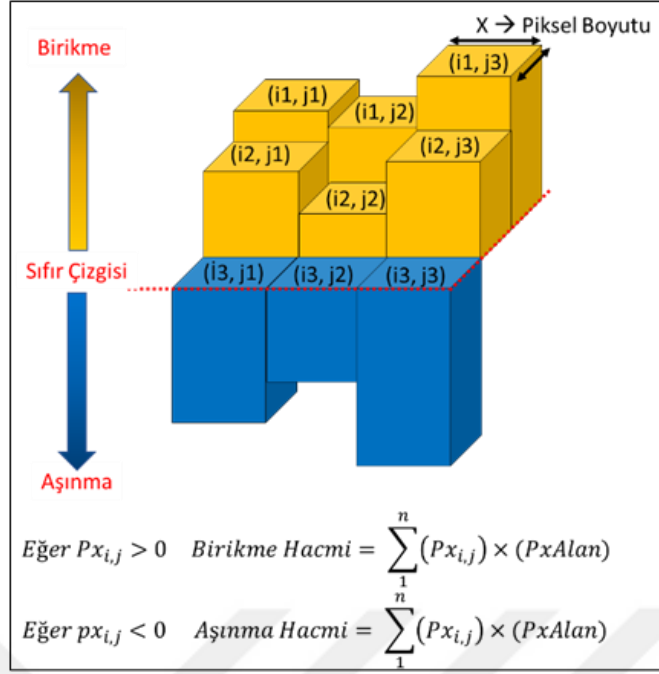
Şekil 2.11. Fark SYM verisi üretimi.

Üretilen Algoritma fark verilerinden Şekil 2.13’de 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. Metin dosyasında alt (0,93 m) ve üst limit (2,75 m) değerleri arazi ölçüm sonuçlarına göre belirlenmiştir (Şekil 2.14). Ayrıca ArcGIS yazılımı ile yolun kazı ve dolgusu ayrı ayrı sınıflandırılarak alansal ve hacimsel haritalar oluşturulmuştur.

Zemin klaslarının belirmesinde yol inşaatı bittikten sonra yapılan uçuş verisinden üretilen ortofoto görüntüsünden yararlanılmıştır.



Şekil 2.12. ArcGIS ArcMap için tasarlanan araç kutusu (Turk ve diğ., 2022).



Şekil 2.13. Fark SYM verisinden kazı ve dolgu hacim ve alanlarının elde edilmesi (Sıfır Çizgisi: İki SYM arasındaki farkın sıfır olduğu yani herhangi bir aşınma veya birikmenin olmadığı anlamına gelmektedir).

```

results_D_311022_H_1122 - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
Lower limits between: (-0.93) & (+0.93)
upper limits between: (-2.75) & (+2.75)
#####
rastercalc12
cell size = 0.03 m
cell area = 0.0009 m2
Calculated Volumes :
Total of Positive Volumes :4183.45963363 m3
Total area of Positive Volumes :2980.3545 m2
Total of Negative Volumes :-2189.10763411 m3
Total area of Negative Volumes :1468.2456 m2
#####
rastercalc7
cell size = 0.109235 m
cell area = 0.011932285225 m2
Calculated Volumes :
Total of Positive Volumes :3830.91499561 m3
Total area of Positive Volumes :2618.02690436 m2
Total of Negative Volumes :-2154.05913864 m3
Total area of Negative Volumes :1411.52968069 m2
#####

```

Şekil 2.14. Araç kutusu çıktısının metin dosyası örnek görüntüsü.

#### 2.2.4.2. Arazi Ölçümlerinden Kazı Hacimlerinin Belirlenmesi

Çalışma alanında arazi ölçümleri 292 sayılı tebliğ esaslarına göre yapılmıştır. Bu tebliğde orman yolu yapım işlerinde hakediş hesaplamalarında kullanılan 1-16 tablolardan (Çizelge 2.3) yararlanılmaktadır. Her bir tabloda yamaç eğimi, dolgu genişliği, kazı genişliği, kazı yüksekliği, kazı alanı, kazı şevi uzaklığı ve kazı şevi uzunluğu bilgileri yer almaktadır. Ayrıca tablolar yolun geometrik ve zemin klaslarına göre 16 adet tabloya ayrılmıştır. Tez çalışmasına konu orman yolu geometrik özellikleri ve zemin klasları bakımından tablo 6'ya (yol genişliği 5 m. zemin toprak küskü, kazı şevi eğimi 3/1, dolgu şevi eğimi %67) uymaktadır. Kazı hacminin hesaplanmasında bu tablo kullanılmıştır.

Çizelge 2.3. 292 sayılı tebliğ esaslarına göre kazı hacimlerinin belirlenmesinde kullanılan hazır tablolar (1-16).

Tablo No	Tablo Özelliği
Tablo 1	Yol genişliği L = 3,50m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 2/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 2	Yol genişliği L = 3,50m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 3/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 3	Yol genişliği L = 3,50m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 4/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 4	Yol genişliği L = 3,50m Zemin KAYA, kazı şevi eğimi m = 5/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 5	Yol genişliği L = 5,00m. Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 2/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler; (0.18m <sup>2</sup> hendek ilaveli)
Tablo 6	Yol genişliği L = 5,00m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 3/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 7	Yol genişliği L = 5,00m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 4/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 8	Yol genişliği L = 5,00m Zemin KAYA, kazı şevi eğimi m = 5/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 9	Yol genişliği L = 7,17m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 2/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 10	Yol genişliği L = 7,11m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 3/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 11	Yol genişliği L = 7,08m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 4/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 12	Yol genişliği L = 7,07m Zemin KAYA, kazı şevi eğimi m = 5/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler

Çizelge 2.3. (Devam) 292 sayılı tebliğ esaslarına göre kazı hacimlerinin belirlenmesinde kullanılan hazır tablolar (1-16).

Tablo 13	Yol genişliği L = 8,17m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 2/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 14	Yol genişliği L = 8,11m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 3/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 15	Yol genişliği L = 8,08m Zemin TOPRAK KÜSKÜ, kazı şevi eğimi m = 4/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler
Tablo 16	Yol genişliği L = 8,07m Zemin KAYA, kazı şevi eğimi m = 5/1, dolgu şevi eğimi % 67 olduğuna göre değişik yamaç eğimlerinde kazı kesitlerine ait değerler

Arazi çalışmalarında yolun başlangıç noktasından itibaren her 20 m’de bir profil noktaları yol yüzeyine işaretlenerek başlangıç ve bitiş noktaları belirlenmiştir. Belirlenen profil noktalarında yolun ortalama eğimi ve kazı şevi yüksekliği ölçülmüş, zemin klası tayini yapılmıştır. Ölçülen kazı şevi yüksekliklerinden (h) Tablo 6’da karşılık gelen yamaç eğimleri (y) belirlenmiştir (Şekil 2.15).

Her bir profil noktası için belirlenen yamaç eğimleri, Bolu Orman Bölge Müdürlüğü’nden alınan MS Excel ortamında (formüllü) hazırlanmış etüt karnesine girilmiştir (Şekil 2.16). Etüt karnesine girilen yamaç eğimi değerlerinden, tablo 6 da (Çizelge 2.4) her yamaç eğimine ait kazı şevi uzaklığı (g) otomatik olarak gelmiştir. Orman idaresinden alınan MS Excel dosyası oluşturduğumuz etüt karnesinden yararlanarak 292 sayılı tebliğ, 1-16 tablolar verilerini kullanarak metraj cetvelindeki kazı şevi uzaklığı (g), kazı genişliği (b) ve kazı şevi uzunluğu (u) değerlerini otomatik olarak hesaplamıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda metraj cetveli üç kenarı bilinen üçgen alan hesabından yararlanarak, 0.18 m<sup>2</sup> hendek alanını da otomatik olarak hesaplayıp kazı miktarını (m<sup>3</sup>) sunmuştur (Şekil 2.17).



Şekil 2.15. Kazı şevi yüksekliklerinin ölçümü ve zemin klaslarının belirlenmesi.

**ETÜD KARNESİ**

BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ : İŞİN CİNSİ :  
 İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ : YOL KOD NO :  
 İŞLETME ŞEFLİĞİ : ETÜD UZUNLUĞU :  
 YOLUN ADI : PROGRAM UZUNLUĞU :

Kazık No	Yol Meyili %	Arazi Yamaç Meyili %	Ara Mesafe m	ZEMİN KLASLARI					Kazı Şevi Uzaklığı m	NOT
				Toprak %	Küskü %	Y.Kaya %	S.Kaya %	Ç.S.Ka. %		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Şekil 2.16. Etüt karnesi.

Çizelge 2.4. 292 Sayılı Tebliğ Tablo 6.

Yamaç Eğimi y (%)	Dolgu Genişliği d (m)	Kazı Genişliği k (m)	Kazı Yüksekliği h (m)	Kazı Alanı F (m <sup>2</sup> )	Kazı Şevi Uzaklığı g (m)	Kazı Şevi Uzunluğu u (m)
5	2,52	2,59	0,13	0,35	2,64	0,14
10	2,47	2,64	0,27	0,54	2,74	0,28
15	2,43	2,68	0,42	0,74	2,85	0,44
20	2,38	2,73	0,58	0,97	2,98	0,61
25	2,31	2,80	0,76	1,24	3,15	0,80
30	2,24	2,87	0,96	1,56	3,33	1,01
35	2,17	2,94	1,16	1,89	3,52	1,22
40	2,07	3,04	1,40	2,31	3,78	1,48
45	1,95	3,16	1,67	2,82	4,08	1,76
50	1,81	3,30	1,98	3,44	4,43	2,09
55	1,63	3,48	2,34	4,25	4,86	2,47
60	1,36	3,75	2,81	5,45	5,46	2,96
65	0,83	4,28	3,55	7,78	6,52	3,74
70		5,11	4,67	12,11	8,14	4,92
75		5,11	5,11	13,24	8,52	5,38
80		5,11	5,58	14,44	8,93	5,88
85		5,11	6,06	15,66	9,36	6,39
90		5,11	6,57	16,97	9,82	6,93
95		5,11	7,10	18,32	10,31	7,48
100		5,11	7,67	19,78	10,84	8,08
110		5,11	8,88	22,87	12,00	9,36
120		5,11	10,22	26,29	13,30	10,77
130		5,11	11,72	30,12	14,79	12,35
140		5,11	13,41	34,44	16,48	14,14
150		5,11	15,33	39,35	18,42	16,16

**METRAJ CETVELİ**

BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ : İŞİN CİNSİ :  
 İŞLETME MÜDÜRLÜĞÜ : YOL KOD NO :  
 İŞLETME ŞEFLİĞİ : PROGRAM UZUNLUĞU :  
 YOLUN ADI : KEŞİF UZUNLUĞU :

Kazık No	Mesafe m	Arazi Yamaç Meyili %	Kazı Alanı m <sup>2</sup>	Ortalama Saha m <sup>2</sup>	Enkesitler Arası Mesafe m	Kazı Miktarı m <sup>3</sup>	ZEMİN KLASLARI				
							Toprak m <sup>3</sup>	Küskü m <sup>3</sup>	Y.Kaya m <sup>3</sup>	S.Kaya m <sup>3</sup>	Ç.S.Ka. m <sup>3</sup>
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											

Şekil 2.17. Metraj cetveli.

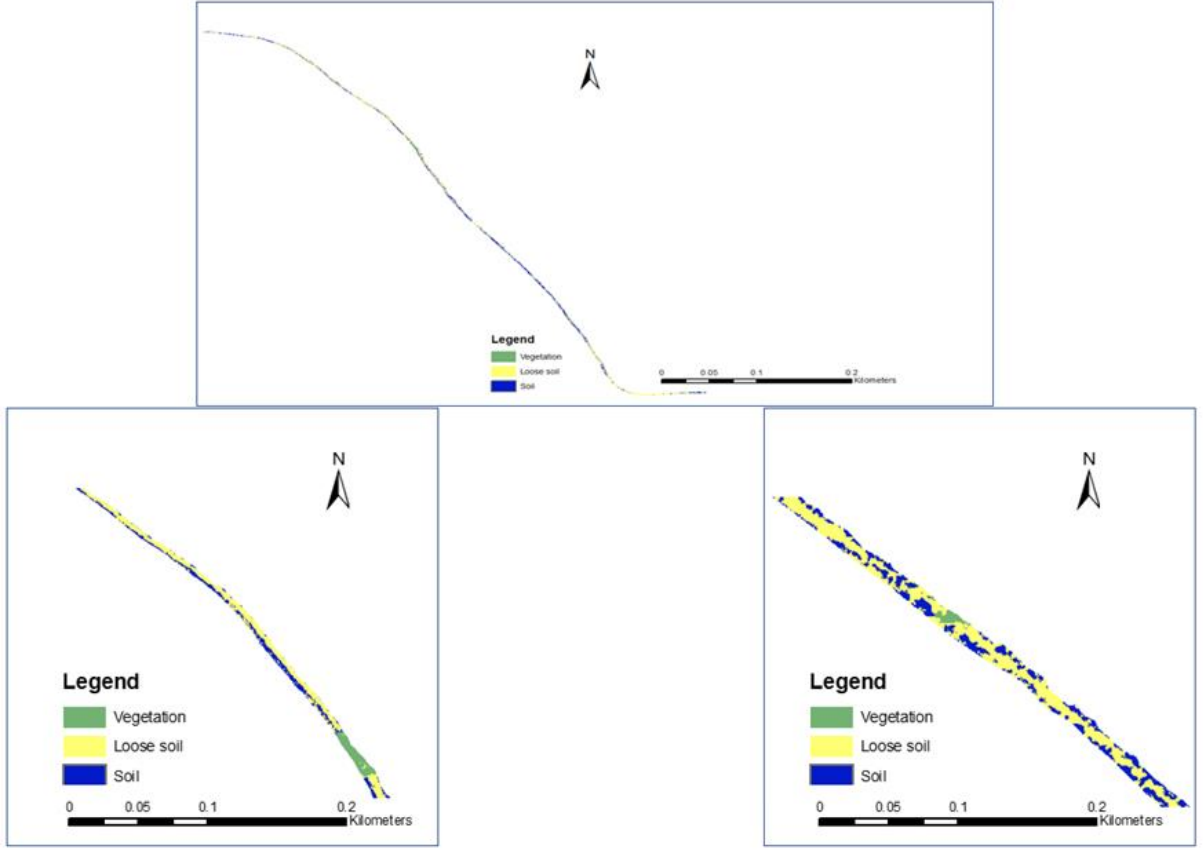
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. ORMAN YOLU ÖZELLİKLERİ VE SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİNE İLİŞKİN BULGULAR

Çalışmaya konu yolun; kazı şevi ortalama yüksekliği 1,70 m ve eğimi %67 bulunmuştur. Yolun boyuna eğimi % 5, yol genişliği 5 m olarak ölçülmüştür. Bunlar dışında zemin klasları da gözlemlenmiş ve buna göre çalışmaya konu yolun yaklaşık %50'si toprak ve diğer %50'si küskülük zemin klaslarından oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 3.1). Zemin sınıflarının belirlenmesinde Google Earth Engine platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak yapılan sonuçlarda ise kazı şevinin %46'sı toprak (0,04591 ha) ve %54 küskülük (0,05482 ha) olarak belirlenmiştir. Sonuçlar arazi gözlemleri ile yakınlık göstermektedir. Ayrıca yapılan sınıflandırma şevde yer alan vejetasyonun da 0,002 ha olarak belirlenmiştir. Sınıflandırmanın doğruluk değerlendirmesi aşamasında, genel doğruluk katsayısı 89,09 ve KAPPA katsayısı 0,86 bulunmuştur. Değerlerin uyum gücü çok yüksektir (0,81-1,00). Şekil 3.2 de zemin sınıfları haritası yer almaktadır.



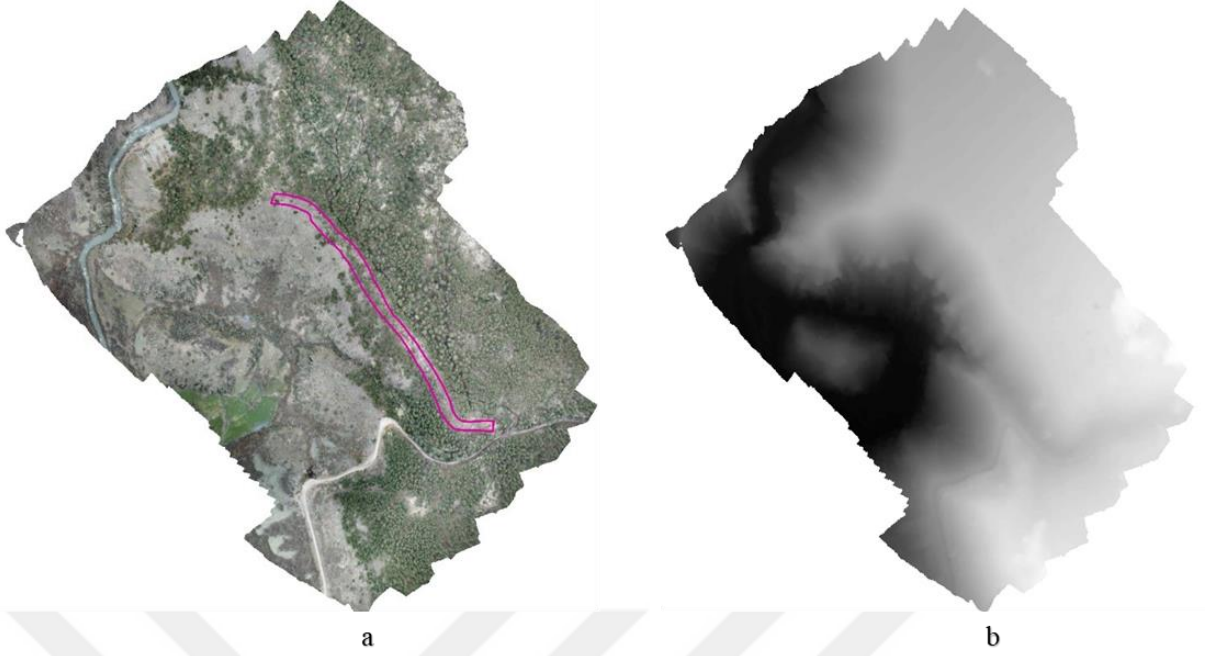
Şekil 3.1. Çalışma alanının Ortofotoda (a) ve arazide (b) tespit edilebilen zemin klasları durumu.



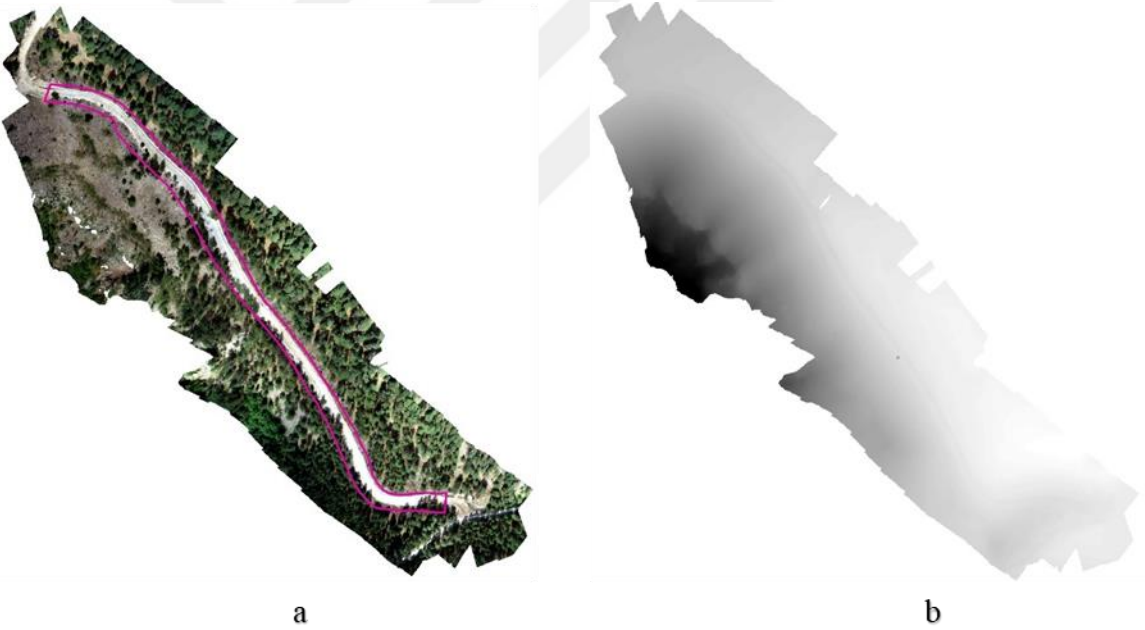
Şekil 3.2. Zemin sınıfları haritası.

Çalışma alanında uçulardan elde edilen görüntüler coğrafi olarak referanslanması yapılarak SfM algoritması ile nokta bulutu oluşturulmuş, daha sonra yola ait SYM'lerin ve ortofotoların üretimi yapılmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Üretilen birinci uçuş sonuçlarına göre sırasıyla 10 cm ve 5 cm çözünürlükte SYM ve ortofoto elde edilmiştir. İkinci uçuş sonuçlarına göre ise sırasıyla 3 cm ve 1,5 cm çözünürlükte SYM ve ortofoto üretilmiştir. Orman yolu yapılmadan önce yolun başlangıç ve son noktalarında; SYM'de en düşük arazi kotu 1417 m, en yüksek arazi kotu 1428 m. Orman yolu yapıldıktan sonra ise SYM'de en düşük arazi kotu 1417 m, en yüksek arazi kotu 1431 m bulunmuştur.

Tez çalışmasında İHA zaman serileri YKN Z farkları hata oranları araştırılmıştır. Bu araştırmada doğalda sabit bulunan (ağaç kökü, kaya vb.) YKN noktalarının Z değerlerinden yararlanılmıştır. İHA kullanılarak üretilmiş SYM'lerinde sabit halde bulunan YKN noktalarının kendi içinde SYM'lerindeki farklarına bakılarak, hata miktarı incelenmiştir. İnceleme sonucunda SYM'lerin ortalama hatası 3 cm bulunmuştur.



Şekil 3.3. Çalışma alanına ait yol yapılmadan önceki Ortofoto (a) ve SYM verileri (b).



Şekil 3.4. Çalışma alanına ait yol yapıldıktan sonraki Ortofoto (a) ve SYM verileri (b).

## 3.2. KAZI HACİMLERİNE İLİŞKİN BULGULAR

### 3.2.1. İHA Verilerinden Elde Edilen Hacimlere İlişkin Bulgular

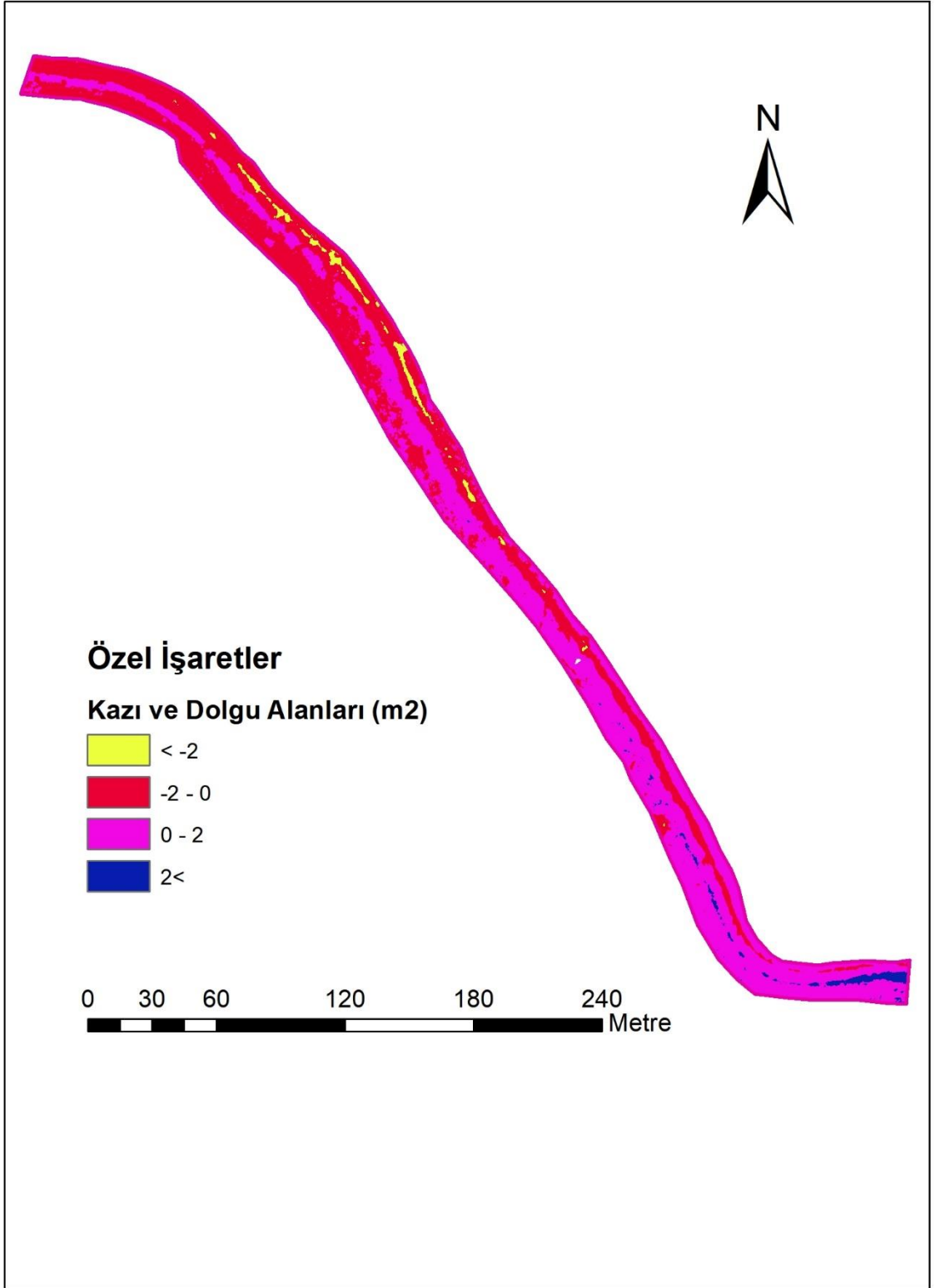
Çalışmada İHA verilerinden elde edilen sonuçlara göre; yola ilişkin 2189,11 m<sup>3</sup> kazı ve 4183,46 m<sup>3</sup> dolgu hacmi bulunmuştur. Ayrıca alansal olarak kazı alanı 1468,25 m<sup>2</sup> ve dolgu alanı 2980,35 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Ayrıca çalışmada

bitki örtüsüz (Sayısal yükseklik modeli/SYM çıplak yeryüzünü ifade ederken) SYM verilerinin sonuçları haricinde bitki örtülü (Sayısal yüzey modeli/YM yeryüzü ve üzerindeki bina, ağaç ve insan yapısı objeleri içeren) YM verileri de incelenmiştir. Bitki örtülü YM veri farklarından elde edilen sonuçlara göre; 2154,06 m<sup>3</sup> kazı ve 3830,91 m<sup>3</sup> dolgu hacmi bulunmuştur. Alansal olarak ise kazı alanı 1411,53 m<sup>2</sup> ve dolgu alanı 2618,03 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan bitki örtüsüz ve bitki örtülü SYM'lerde kazı hacimleri incelendiğinde; bitki örtüsüz SYM verisinin kazı hacmi 35,05 m<sup>3</sup> ve kazı alanının ise 56,72 m<sup>2</sup> daha fazla olduğu saptanmıştır (Tablo 3.1). Tez çalışmada arazi ölçüm sonuçları ile bitki örtüsüz SYM verileri karşılaştırılmıştır.

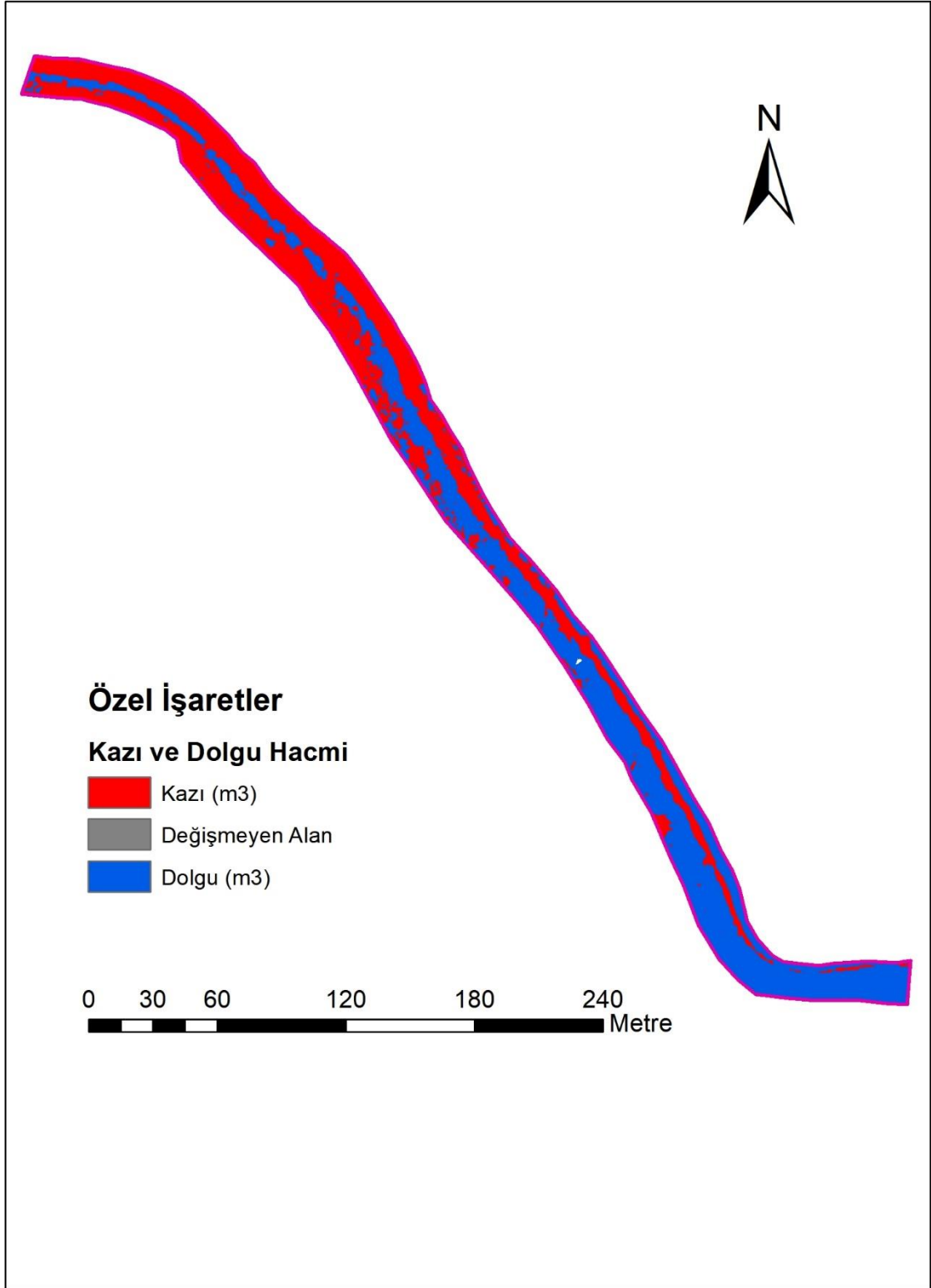
Çizelge 3.1. İHA sonuçlarından elde edilen kazı ve dolgu hacim ile alan bilgileri.

SYM Özelliği	Kazı		Dolgu	
	Alan (m <sup>2</sup> )	Hacim (m <sup>3</sup> )	Alan (m <sup>2</sup> )	Hacim (m <sup>3</sup> )
Bitki Örtüsüz	1468,25	2189,11	2980,35	4183,46
Bitki Örtülü	1411,53	2154,06	2618,03	3830,91
Fark	56,72	35,05	362,32	352,55

İHA ile kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesine ilişkin sınırlı sayıda çalışmalar bulunmaktadır (Akgül ve diğ., 2017; Anurogo ve diğ., 2017; Buğday, 2018). Gülci ve Kılınç (2018), İHA ile toprak yığını hacim ölçümlerini değerlendirmiş, çalışma sonucunda 38,56 m<sup>3</sup> hacim miktarı bularak, Total Station ile farkının 1,94 m<sup>3</sup> olduğunu belirtmiştir. Buğday (2018), İHA ile 300 m uzunluğundaki bir orman yolunda toplam 81804,4 m<sup>3</sup> kazı ve 74,2 m<sup>3</sup> dolgu hacmi bulmuştur. Yapılan bu çalışma sonuçları ile araştırma bulgularımızın farklı olması, arazinin topografik özelliklerinin ve yol boyuna eğiminin farklı olmasından dolayıdır. Ayrıca çalışmalarda kullanılan İHA'lar, donanım, teknik özellikler ve maliyet açısından farklılık göstermektedir. Bu ve diğer çalışmalar orman yollarında kazı ve dolgu hesaplamalarında İHA'ların önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Ayrıca hakediş (olur) maliyetlerinin belirlenmesinde önemli olan zemin klasları da bu çalışma özelinde İHA verileri ile rahatlıkla belirlenebilmiştir.



Şekil 3.5. İHA'ya ait alansal kazı ve dolgu sınıfları haritası.



Şekil 3.6. Hacimsel kazı ve dolgu haritası.

### 3.2.2. Arazi Ölçümlerinden Elde Edilen Hacimlere İlişkin Bulgular

Çalışmada arazi ölçümleri 292 sayılı tebliğ esaslarına göre yapılmıştır. Tebliğ esasları doğrultusunda çalışmaya konu yolun geometrik özellikleri ile zemin klaslarının örtüştüğü

tebliğdeki Tablo 6'ya göre metraj cetvelleri oluşturulmuştur. Metraj cetvelleri oluşturulurken her bir profil noktasında ölçülen kazı şevi yükseklikleri (Çizelge 3.1) bu tablolarda karşılık gelen yamaç eğimleri, her bir profil noktası arasındaki zemin klasları yüzdelik oranları, yolun boyuna eğimi ve her bir profil noktası arasındaki mesafeler etüt karnesinde (Çizelge 3.2) ilgili yere yazıldı. Orman İşletme Müdürlüğünden alınan etüt karnesi formüllü MS Excel dosyası olup verilerin girilmesiyle diğer sayfada yer alan metraj cetvelinde (Çizelge 3.3) 1040 m<sup>3</sup> toprak ve 1040 m<sup>3</sup> küskülük olmak üzere 2080 m<sup>3</sup> toplam kazı hacmi bulunmuştur. Ayrıca metraj cetveli incelendiğinde, ortalama arazi yamaç eğimi %47, ortalama kazı alanı 3,23 m<sup>2</sup> ve ortalama kazı miktarı 64,99 m<sup>3</sup> bulunmuştur.

Çizelge 3.2. Kazı şevi yükseklikleri.

Kazık No	Kazı Şevi Yüksekliği (cm)	Kazık No	Kazı Şevi Yüksekliği (cm)
1	170	18	178
2	212	19	171
3	165	20	245
4	132	21	275
5	178	22	184
6	228	23	194
7	195	24	182
8	208	25	179
9	195	26	174
10	185	27	159
11	169	28	131
12	147	29	112
13	174	30	93
14	171	31	102
15	172	32	95
16	155	33	95
17	191		

Çizelge 3.3. Orman işletme müdürlüğünden alınan formüllü etüt karnesi.

Kazık No	Yol Meyili	Arazi Yamaç Meyili	Ara Mesafe	ZEMİN KLASLARI					Kazı Şevi Uzaklığı
				Toprak	Küskü	Y.Kaya	S.Kaya	Ç.S.Ka.	
	%	%	m	%	%	%	%	%	m
1	5	50	-	50	50				4,43
2	5	55	20	50	50				4,86
3	5	45	20	50	50				4,08
4	5	40	20	50	50				3,78
5	5	50	20	50	50				4,43
6	5	55	20	50	50				4,86
7	5	50	20	50	50				4,43
8	5	55	20	50	50				4,86
9	5	50	20	50	50				4,43
10	5	50	20	50	50				4,43
11	5	50	20	50	50				4,43
12	5	45	20	50	50				4,08
13	5	50	20	50	50				4,43
14	5	50	20	50	50				4,43
15	5	50	20	50	50				4,43
16	5	45	20	50	50				4,08
17	5	50	20	50	50				4,43
18	5	50	20	50	50				4,43
19	5	50	20	50	50				4,43
20	5	60	20	50	50				5,46
21	5	60	20	50	50				5,46
22	5	50	20	50	50				4,43
23	5	50	20	50	50				4,43
24	5	50	20	50	50				4,43
25	5	50	20	50	50				4,43
26	5	50	20	50	50				4,43
27	5	45	20	50	50				4,08
28	5	40	20	50	50				3,78
29	5	35	20	50	50				3,52
30	5	30	20	50	50				3,33
31	5	35	20	50	50				3,52
32	5	30	20	50	50				3,33
33	5	30	20	50	50				3,33
<b>TOPLAM</b>			<b>640</b>						

Çizelge 3.4. 292 sayılı tebliğ Tablo 6'ya göre hazırlanan metraj cetveli.

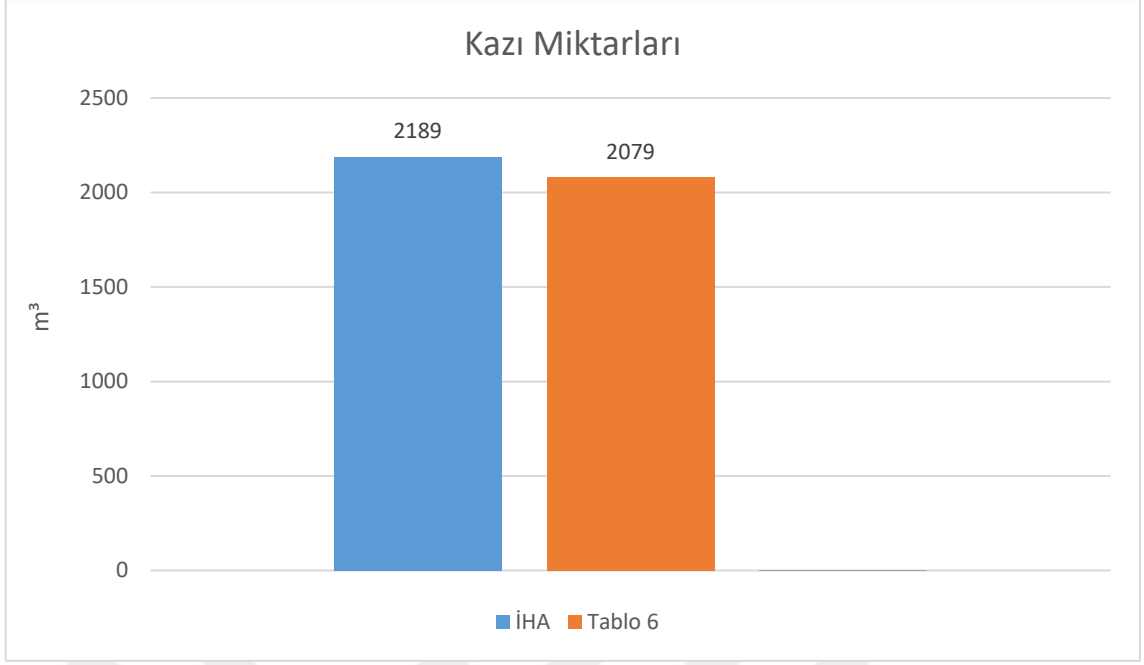
Kazık No	Mesafe	Arazi Yamaç Meyili	Kazı Alanı	Ortalama Saha	Enkesitler Arası Mesafe	Kazı Miktarı	ZEMİN KLASLARI				
							Toprak	Küskü	Y. Kaya	S. Kaya	Ç.S. Kaya
							m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
1	-	50	3,44	-	-	-	-	-			
2	20	55	4,25	3,845	20,00	76,900	38,450	38,450			
3	40	45	2,82	3,535	20,00	70,700	35,350	35,350			
4	60	40	2,31	2,565	20,00	51,300	25,650	25,650			
5	80	50	3,44	2,875	20,00	57,500	28,750	28,750			
6	100	55	4,25	3,845	20,00	76,900	38,450	38,450			
7	120	50	3,44	3,845	20,00	76,900	38,450	38,450			
8	140	55	4,25	3,845	20,00	76,900	38,450	38,450			
9	160	50	3,44	3,845	20,00	76,900	38,450	38,450			
10	180	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
11	200	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
12	220	45	2,82	3,13	20,00	62,600	31,300	31,300			
13	240	50	3,44	3,13	20,00	62,600	31,300	31,300			
14	260	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
15	280	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
16	300	45	2,82	3,13	20,00	62,600	31,300	31,300			
17	320	50	3,44	3,13	20,00	62,600	31,300	31,300			
18	340	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
19	360	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
20	380	60	5,45	4,445	20,00	88,900	44,450	44,450			
21	400	60	5,45	5,45	20,00	109,00	54,500	54,500			
22	420	50	3,44	4,445	20,00	88,900	44,450	44,450			
23	440	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
24	460	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
25	480	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
26	500	50	3,44	3,44	20,00	68,800	34,400	34,400			
27	520	45	2,82	3,13	20,00	62,600	31,300	31,300			
28	540	40	2,31	2,565	20,00	51,300	25,650	25,650			
29	560	35	1,89	2,1	20,00	42,000	21,000	21,000			
30	580	30	1,56	1,725	20,00	34,500	17,250	17,250			
31	600	35	1,89	1,725	20,00	34,500	17,250	17,250			
32	620	30	1,56	1,725	20,00	34,500	17,250	17,250			
33	640	30	1,56	1,56	20,00	31,200	15,600	15,600			
<b>TOPLAM</b>					<b>640,00</b>	<b>2079,800</b>	<b>1039,900</b>	<b>1039,900</b>			

### 3.3. KAZI HACMİ VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASINA İLİŞKİN BULGULAR

Orman yolu inşaatında kazı hacim verileri karşılaştırıldığında (Çizelge 3.5); İHA ile yolun inşaatından önce yapılan ilk uçuş ve inşaat sonrasında yapılan ikinci uçuş verileri arasındaki farktan hesaplanan kazı miktarı 2189 m<sup>3</sup> ve 292 sayılı tebliğ Tablo 6'dan yararlanılarak hesaplanan kazı miktarı 2080 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. İHA ile gerçekleştirilen uçuşlar neticesinde hesaplanan değer ile Tablo 6 verilerinden yararlanılarak hesaplanan değer arasında 110 m<sup>3</sup> fark olduğu görülmektedir. İHA sonuçları Tablo 6'ya göre yaklaşık %5 fazla bulunmuştur (Çizelge 3.4) (Şekil 3.7). Orman Genel Müdürlüğü, Makine İkmal Şube Müdürlüğünde teknik personellerle yapılan görüşmelerde (Röportaj, 2022); İHA ile 1-16 tablo sonuçları arasında yaklaşık  $\pm$  %5'lik sapmanın olduğu belirtilmiştir. Bu durum tez çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 3.5. İHA verisi ve 292 sayılı tebliğ Tablo 6 ya göre kazı miktarlarının karşılaştırılması.

Yöntemler	İHA (A)	Tablo 6 (B)	Fark (A-B)
Kazı Miktarı (m <sup>3</sup> )	2189	2080	110 (%5)



Şekil 3.7. İHA verisi ve 292 sayılı tebliğ Tablo 6 ya göre kazı miktarı grafiği.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hakediş cetvellerinin hazırlanmasında önemli olan orman yolu inşaatında yapılan kazı miktarı, İHA ve Orman Yolları Planlaması, Yapımı ve Bakımı (292 Sayılı) Tebliğine göre bulunarak iki farklı yöntem karşılaştırılmıştır. Taşlıyayla OİŞ 001 kod nolu orman yolu inşaatına başlanılmadan önce Nisan 2019 ve kazı işlerinin bittiği Eylül 2020 tarihlerinde iki uçuş gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya konu orman yolu uzunluğu 640 m, yol genişliği 5 m ve arazi yamaç eğimi ortalama % 41 olarak tespit edilmiştir.

İHA uçuş verisi ve 292 sayılı tebliğ tablo 6 sonuçlarına göre; toplam kazı hacmi İHA ile 2189 m<sup>3</sup> ve Tablo 6 ya göre 2080 m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. İHA verileri ve mevcut kullanılan yöntem arasında +%5 lik bir fark bulunmaktadır. Bu fark göz adı edilebilecek bir fark olmak beraber İHA'nın kullanılabilirliğini de ortaya koymaktadır. Ayrıca zemin klasları da üretilen ortofoto görüntülerinden rahatlıkla tespit edile bilinmektedir.

292 sayılı tebliğ tablo 1-16 verilerine göre orman yolu inşaatında kazı miktarı belirlenmesinde arazi ölçümleri bakımından iş yükü fazla ve zaman alıcıdır. Ayrıca arazi üzerinde ölçüm yapan personelin tecrübesi önem kazanmaktadır. Geleneksel kazı miktarı belirleme yöntemine alternatif olarak bu tez çalışmasında, İHA ile orman yolu inşaatında kazı miktarı tespit edilebilmiştir.

İHA ve klasik yöntem olan 292 sayılı tebliğ 1-16 tablolar karşılaştırıldığında; İHA ile orman yolları miktarının hesaplanabilmesi için yol yapımına başlanılmadan meşcerenin alandan uzaklaştırılması gerekmektedir. Aksi halde uçuş zorlukları ve görüntü alımında problemler yaşanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yol yapımından önce inşaat alanında tıraşlama kesimi yapılmaz ise İHA kamera değişikliği ile SYM verisi orman örtüsü olsa bile elde edile bilinmektedir. Bölge Müdürlüğü bünyesinde LiDAR kameralı İHA alımı ile bu gibi olumsuzluklar bertaraf edebilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Acar, H. H. (2005). *Orman Yolları*, Ders Notları. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Acar, H. H., & Karabacak, M. (2012). The investigation of approximate cost and progress payment for forest road building in Lakes Region of Turkey. *Turkish Journal of Forestry*, 13(1), 21-27.
- Agapiou, A. (2017). Remote sensing heritage in a petabyte-scale: Satellite data and heritage Earth Engine applications. *International journal of digital earth*, 10(1), 85-102.
- 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.
- 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.
- Anurogo, W., Lubis, M. Z., Khoirunnisa, H., Hanafi, D. S. P. A., Rizki, F., Surya, G., Dewanti, N.A., 2017. A Simple Aerial Photogrammetric Mapping System Overview and Image Acquisition Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Geospatial Information*, 1(1), 11-18.
- Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Giulio Tonolo, F., Marenchino, D., & Piras, M. (2008). Low cost UAV for post-disaster assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B8), 1373-1379.
- Breiman, L. (1996), Bagging predictors. *Machine Learning*, 26, 123–140
- Breiman, L. 1999, *Random forests—random features*, Technical Report 567, Statistics Department, University of California, Berkeley.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Monterey, CA: Wadsworth.
- Buğday, E. (2018). Capabilities of using UAVs in forest road construction activities. *European Journal of Forest Engineering*, 4(2), 56-62.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B).
- Contreras, M., Aracena, P., Chung, W. (2012). Improving accuracy in earthwork volume estimation for proposed forest roads using a high resolution digital elevation model. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(1), 125-142.
- DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) 2001, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

- Eisenbeiss, H., & Sauerbier M. (2011). Investigation Of Uav systems and flight modes for photogrammetric applications. *The Photogrammetric Record*, 26(136), 400–421.
- Eker, R. (2023) Comparative use of PPK-integrated close-range terrestrial photogrammetry and a handheld mobile laser scanner in the measurement of forest road surface deformation. *Measurement*, 206, 112322, 281-290.
- Eker, R., Aydın, A., & Hübl, J., (2018) Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1), 28
- Erbaş, F. D. (2010). “Dağlık Arazide İnşa Edilen Orman Yollarında Yaklaşık Maliyet ve Hakediş Değerlerinin İrdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Erdaş, O. (1997). *Orman yolları*. Trabzon:Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- FAO 1992, *Cost control in forest harvesting and road construction*, FAO Forestry Paper 99, Rome.
- Foody, G. M. (2020). Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111630.
- Gül, Y. (2019). Açık maden işletmelerinde insansız hava aracı (İHA) uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 62(1), 99-112.
- Gülci, S. ve Kılınç, G., (2018). Uçangöz Yardımıyla Kazı Sonrası Oluşan Toprak Yığını Hacim Ölçümünün Değerlendirilmesi. İçibde International Academic Research Congress, 30 Oct-03 Nov. 2018.
- Gülci, S., & Şireli, S. (2019). The evaluation of SfM technique in the determination of surface deformation on skidding roads following timber harvesting. *European Journal of Forest Engineering*, 5(2), 52-60.
- Gülci, S., Yurtseven, H., & Akgül, M. (2021). Düşük maliyetli insansız hava araçları için uçuş öncesi blok planlamanın değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 114-126.
- Gumus, S., Acar, H., Tunay, M., & Atesoğlu, A. (2003). Calculation of cut and fill volumes by GIS in forest road projecting. İçinde *XII World Forestry Congress, Quebec City, Canada* (ss. 21-28).
- Gwet, K. (2001). *Statistical Tables for Inter-Rater Agreement*. Gaithersburg: StatAxis Publishing.
- Gwet, K. (2001). *Handbook of inter-rater reliability*. Gaithersburg, MD: STATAXIS Publishing Company, 223-246.
- 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.
- Hruza, 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.

- Karabacak, M. (2010). "Göller Bölgesi'nde İnşa Edilen Orman Yollarında Yaklaşık Maliyet ve Hakediş Değerlerinin İrdelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Mete, K. U. N., & Özcan, B. (2019). Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 554-564.
- Lindner G., Schraml K., Mansberger R., & Hübl J. (2016). UAV monitoring and documentation of a large landslide. *Applied Geomatics*, 8(1), 1-11.
- McGhee, K. H., (2004). *Automated Pavement Distress Collection Techniques*. Washington: Transportation Research Board.
- Mitch, B., & Salah, S. (2009). Architecture for cooperative airborne simultaneous localization and mapping. *Journal Intelligent. Robotic System*, 55(4-5), 267-297.
- 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), 1193–1198.
- OGM 2008, *Orman Yollarının Planlanması, Yapımı ve Bakımı*, 292 Sayılı Tebliğ, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, İnşaat ve İkmal Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Ozcelik, V., Türk, Y., Cinar, T., Aydın, A. (2021). Investigation of the Tender Results of Forest Road Constructions Process. İçinde *4th International Conference on Life Science and Technology*, ICONST LST'21 (ss. 114-120).
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International journal of remote sensing*, 26(1), 217-222.
- Peker, T., (1998), 'Ülkemiz Karayollarında Karşılaşılan Morfolojik Sorunlar ve Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınabilecek Önlemler', Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Röportaj, 2022. Orman Genel Müdürlüğü, Makine İkmal Şube Müdürlüğünde teknik personellerle yapılan görüşmeler, Ankara.
- Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.
- Shervais, K., 2015, Structure from Motion, Introductory Guide, Erişim 27 Temmuz 2016, <<https://www.unavco.org/education/resources/educational-resources/lesson/field-geodesy/module-materials/sfm-intro-guide.pdf>>.
- Sim, J., & Wright, C. C. (2005). The kappa statistic in reliability studies: use, interpretation, and sample size requirements. *Physical therapy*, 85(3), 257-268.
- Tahar, K. N., Ahmad, A., & Akib, W. A. A. W. M. (2011). UAV-based stereo vision for photogrammetric survey in aerial terrain mapping. İçinde *2011 IEEE International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE)* (ss. 443-447).
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and

- systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170.
- Turk, Y. (2019). Forest road design with cad software: a case study in the western black sea region of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(3), 1743-1751.
- Turk, Y., Aydin, A., & Eker, R. (2019b). Effectiveness of open top culverts in forest road deformations: preliminary results from a forest road section. *İçinde 2nd International Symposium of Forest Engineering and Technologies* (ss. 147-152).
- 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., 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* (ss. 630-633).
- Türk, Y., Canyurt, H., Remzi, E., & Aydın, A. (2022). İnsansız hava aracı ile orman yolu kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesi: Bolu-Taşlıyayla örneği. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 76-83.
- Türk, Y., Gümüş, S. (2017). Evaluation of the tender results of forest road constructions: A case study in Bolu Regional Directorate. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 67(2), 194-202. DOI: 10.17099/jffiu.292012.
- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovskè, Z., Turner, D., Vopěnka, P. (2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: a comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7, 1-16.
- Watts, A. C., Ambrosia, V. G., & Hinkley, E. A. (2012). Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4(6), 1671-1692.
- 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.
- Xiong J, Thenkabail P. S, Tilton J. C., Gumma, M. K., Teluguntla, P., Oliphant, A., Congalton, R. G., Yadav, K., Gorelick, N. (2017). Nominal 30-m cropland extend map of continental Africa by integrating pixel-based and object-based algorithms using Sentinel-2 and Landsat-8 data on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 9(10), 1065.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Harun CANYURT

Yabancı Dili : İngilizce

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Orman Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2022
Lisans	Orman Mühendisliği	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	2017
Ön Lisans	Harita ve Kadastro	Gaziosmanpaşa Üniversitesi	2013
Lise		Akıncı Anadolu Lisesi	2011

## YAYINLAR

Türk, Y., Canyurt, H., Remzi, E., & Aydın, A. (2022). İnsansız hava aracı ile orman yolu kazı ve dolgu hacimlerinin belirlenmesi: Bolu-Taşlıyayla örneği. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 76-83. DOI: 10.17568/ogmoad.109

