

**T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TERASLAMA ÇALIŞMALARI İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN
ÖLÇÜMLERDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ (İHA)
KULLANIM OLANAKLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih KARAAĞAÇ

Danışman

Doç. Dr. Can VATANDAŞLAR

OCAK, 2026

BİLİMSEL ETİK BEYANNAMESİ

Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “TERASLAMA ÇALIŞMALARI İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜMLERDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ (İHA) KULLANIM OLANAKLARI” başlıklı bu çalışmayı;

☒ Baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Can VATANDAŞLAR’ın sorumluluğunda tamamladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metin içerisinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı taahhüt ederim.

☒ Turnitin benzerlik programından alınmış olan özgünlük raporuna göre tezin benzerlik oranının % 4 olduğunu beyan ederim.

Aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Lisansüstü Eğitim-Öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

☒ Tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

☐ Tezim sadece Artvin Çoruh Üniversitesi yerleşkelerinden erişime açılabilir.

☐ Tezimin ... ay süreyle erişime açılmasını istemiyorum. Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin tamamı her yerden erişime açılabilir.

...../...../2026

Fatih KARAAĞAÇ

ORCID NO: 0000-0001-8138-8657

İmza

T.C.
ARTVİN ÇORUH ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORMAN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TERASLAMA ÇALIŞMALARI İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜMLERDE
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ (İHA) KULLANIM OLANAKLARI

Fatih KARAAĞAÇ
ORCID NO: 0000-0001-8138-8657

Başkan : Doç. Dr. Can VATANDAŞLAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sinan GÜNER

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Bayram ÇİL

ONAY:

Bu Yüksek Lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 09/02/2026 tarihinde oybirliği/oyçokluğu ile uygun görülmüş ve kabul edilmiştir.

.../.../2026

Prof. Dr. Kerem ÇOŞKUN

Enstitü Müdürü

ÖN SÖZ

“TERASLAMA ÇALIŞMALARI İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN ÖLÇÜMLERDE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ (İHA) KULLANIM OLANAKLARI” konusunda yapılan bu çalışma; Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konusu olarak seçilen bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan danışman hocama, veri analizlerine destek veren Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bayram ÇİL’e ve değerli görüşleriyle tezimin geliştirilmesine katkı sunan Sayın Prof. Dr. Sinan GÜNER’e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca arazi çalışmaları esnasında sahada bulunarak lojistik konularda destek olan o dönemin orman işletme şefi Sayın Dr. Süleyman BORUCU’ya, uçuş planlaması ve fotogrametrik ürünlerin üretilmesinde yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Mustafa ZEYBEK’e ve son olarak teras projesi ve güncel amenajman planı verilerini benimle paylaşan Pazar Orman İşletme Şefi Sayın Recep Ali ERDOĞAN’a çok teşekkür ederim.

Fatih KARAAĞAÇ

Artvin – 2026

İÇİNDEKİLER

KISALTMA DİZİNİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	VIII
ÖZET	IX
ABSTRACT	XI
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel Bilgiler	1
1.2 Literatür Özeti.....	6
2 MATERYAL VE YÖNTEM	10
2.1 Çalışma Alanı	10
2.2 Materyal	12
2.3 Yöntem	13
3 BULGULAR VE TARTIŞMA	19
3.1 Teras Ölçümlerine İlişkin Bulgular.....	19
3.2 İHA Uçuşuna İlişkin Bulgular	21
3.3 Terasların Otomatik Sınıflandırılması ve Doğruluk Değerlendirmesi	24
3.4 Zaman-Maliyet Analizi.....	27
3.5 Tartışma	28
4 SONUÇ VE ÖNERİLER	33
KAYNAKLAR.....	35
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	38

KISALTMA DİZİNİ

AÇÜ	Artvin Çoruh Üniversitesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
İHA	İnsansız Hava Aracı
GNSS	Global Navigation Satellite System
OBM	Orman Bölge Müdürlüğü
OİM	Orman İşletme Müdürlüğü
OİŞ	Orman İşletme Şefliği
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
RGB	Red, Green, Blue (3 bantlı optik görüntü)
RTK	Real-Time Kinematic (gerçek zamanlı konumlandırma sistemi)

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. 1 Çalı destekli ideal bir dar terasın şematik görünümü (Boydak ve Çalışkan, 2014).....	2
Şekil 1. 2 317 numaralı silvikültür tebliğine göre eğimli arazide tesis edilmiş ideal bir teras (OGM, 2024).....	4
Şekil 2. 1 Çalışma alanı Şenyuva Orman İşletme Şefliği'nin konumu	10
Şekil 2. 2 Kullanılan İnsansız Hava Aracının görünümü ve temel bileşenleri.....	13
Şekil 2. 3 İHA uçuşu esnasında alınmış tekil hava fotoğrafından bir görüntü.....	14
Şekil 2. 4 İHA ile üretilmiş ortofoto harita üzerinden terasların sayısallaştırılması	16
Şekil 2. 5 1:4,000 ölçekte gerçekleştirilen sayısallaştırma işlemi esnasında görüntü üzerinde görülebilen detaylar. Teras içindeki kesim artıkları, sahadaki dikili kuru ağaçlar ve diri örtü tabakasının seçilebildiğine dikkat ediniz.	18
Şekil 3. 1 159 numaralı bölmede bulunan birinci teras sahasının haritası.	19
Şekil 3. 2 135 numaralı bölmede bulunan ikinci teras sahasının haritası.....	20
Şekil 3. 3 İkinci teras sahasından (135 no.lu bölme) alınan tekil hava fotoğraflarından bir görünüm. Orman yolunda gölgede duran operatörlere dikkat ediniz.	22
Şekil 3. 4 159 numaralı bölmede bulunan birinci teras sahasının 6 cm çözünürlükteki sayısal yüzey modeli (SYM).	23
Şekil 3. 5 135 numaralı bölmede bulunan ikinci teras sahasının 6 cm çözünürlükteki sayısal yüzey modeli (SYM).	24
Şekil 3. 6 Kontrollü sınıflandırma ile otomatik olarak sayısallaştırılan teraslar. a) 1 ha büyüklüğündeki deneme alanı, b) kontrollü sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar, c) teras sınıfına ait poligonlar, d) poligonların smooth komutuyla düzeltilmesi, e) poligonların orta hattını temsil eden çizgiler ve f) terasların otomatik çizdirilmiş hali.....	26
Şekil 3. 7 Deneme alanı içinde manuel (sarı) ve otomatik (siyah) olarak sayısallaştırılan teraslar.	27

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 Orman ağacı ile yapılan teras dikimlerinde fidan aralıkları ve teras yoğunluğu (OGM, 2024)	5
Tablo 2.1 Şenyuva Orman İşletme Şefliği'ndeki ağaç türleri ve rumuzları	12
Tablo 3.1 Teras sahalarına ilişkin ölçüm ve diğer bilgiler.....	21



Teraslama Çalışmaları İçin Gerçekleştirilen Ölçümlerde İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Kullanım Olanakları

Fatih KARAĞAÇ

Ülkemiz ormanları genellikle eğimli arazilerde bulunduğu için ağaçlandırma ve yapay gençleştirme çalışmalarında teras yapımı gerekli olabilmektedir. Teraslar yüzeysel akışı yavaşlatarak toprak ve su kaybını azaltmakta, dolayısıyla bitki gelişimini desteklemektedir. Teraslama yapılmış arazilerde yetişen fidanların yaşama yüzdesi ve büyüme hızı teraslama yapılmamış arazilerdekine göre daha fazladır. Ancak ağaçlandırma ve gençleştirme çalışmalarında tam başarının sağlanabilmesi için arazi hazırlığının ve teras tesisinin tekniğine uygun ve hassas bir şekilde yapılması gerekmektedir. Geleneksel teras ölçüm yöntemleri, özellikle geniş ve ulaşımı zor alanlarda zaman/işgücü kaybına ve ölçüm hatalarına yol açabilir. Bu durum, teraslama projelerinde daha hızlı, hassas ve ekonomik veri toplama yöntemlerine olan ihtiyacı artırmıştır. Son yıllarda giderek gelişen insansız hava araçları (İHA) teknolojisi; yüksek çözünürlüklü konumsal veri üretimi, düşük maliyet ve pratik haritalama gibi avantajlarıyla ormancılık çalışmalarında önemli bir araç haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında da İHA teknolojisinin, teras ölçümleri ve teras haritalarının üretiminde etkili şekilde kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Bu amaçla, Şenyuva Orman İşletme Şefliği'nin (OIŞ) iki farklı bölmesindeki teras sahalarında uçuş gerçekleştirilmiş ve ortofoto haritalar üretilmiştir. Bu haritalar üzerinden çeşitli teras parametreleri manuel (ekrandan sayısallaştırma) ve otomatik (görüntü sınıflandırma) olarak ölçülmüş ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde (CBS) terasların vektör tabanlı haritaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 159 ve 135 numaralı bölmelerdeki birinci ve ikinci teras projesine ait genel saha büyüklüğü, toplam teras uzunluğu, sıralar arası ort. yatay mesafe ve teras yoğunlukları sırasıyla; 44,51 ha, 21,40 km, 7 m, 0,48 km/ha ve 22,83 ha, 12,19 km, 7 m,

0,53 km/ha'dır. 2026 yılı birim fiyat cetveline göre gerçekleştirilen zaman-maliyet analizi sonucunda söz konusu terasların ölçümünün İHA haritalama yöntemiyle bir günde tamamlanabildiği ve işin maliyetinin 38.919,39 TL olduğu görülmüştür. Aynı iş geleneksel yöntemle dört işçinin üç gün çalışmasını gerektirmekte ve 46.500,00 TL'ye malolmaktadır. Ancak, bu maliyetler toplam saha büyüklüğü, ölçülen teras uzunluğu ve coğrafi bölgeye göre değişim gösterebilir. Bulgular, 50 ha'dan daha büyük teras sahalarında İHA haritalama yönteminin daha ekonomik olduğunu göstermiştir. 50 ha'dan küçük sahalarda ise, işin erken bitirilme gerekliliği ve iş güvenliği riski yoksa, geleneksel yöntem (işçiyle yersel ölçüm) tercih edilebilir. Bu çalışmada ayrıca teras uzunluklarının CBS'de manuel sayısallaştırma yerine kontrollü görüntü sınıflandırma yöntemiyle otomatik olarak belirlenebileceği de gösterilmiştir. Bu olanak, İHA haritalama yönteminin hızını daha da arttıracaktır ve özellikle binlerce hektarlık çok geniş teras sahalarında tercih edilmelidir. Çalışmanın sonunda, teraslama amaçlı ölçümlerin ve teras haritalarının İHA teknolojisiyle pratik şekilde gerçekleştirilebileceği ve böylece ağaçlandırma ve yapay gençleştirme çalışmaları için yapılacak teras projelerinin daha ekonomik, hızlı ve etkili şekilde sonuçlandırılabilmesi değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Teras, Ağaçlandırma, Uzaktan Algılama, Sayısallaştırma, Kontrollü Sınıflandırma

Assessing the Potential of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Terrace Measurement in Regeneration Sites

Fatih KARAAĞAÇ

Forestlands in Turkey are generally located on sloping terrain. Terrace construction is therefore required in afforestation and artificial regeneration sites. Terraces reduce soil and water loss by slowing surface runoff and support plant growth. The survival rate and growth performance of seedlings growing on terraced sites are generally higher than those on non-terraced sites. However, to achieve full success in afforestation and regeneration activities, site preparation and terrace construction must be carried out accurately and in accordance with technical standards. Traditional terrace measurement methods may result in time and labor losses, as well as measurement errors, especially on large and steep slopes. This has increased the need for faster, more accurate, and more cost-effective data collection methods in terracing projects. In recent years, unmanned aerial vehicle (UAV) technology has become an important tool in various forestry applications due to its advantages, including high-resolution spatial data production, low cost, and practical mapping capabilities. In this thesis, the potential of UAV technology for effective use in terrace measurements and terrace map production was investigated. To this end, UAV flights were conducted over terraced sites located in compartments 135 and 159 of the Şenyuva Forest Planning Unit (FPU), and orthophoto maps were produced. Based on these maps, several terrace parameters were measured using manual (on-screen digitizing) and automated (supervised classification) methods, and vector-based terrace maps were generated in Geographic Information System (GIS) environment. According to the results, the area coverage, total terrace length, average horizontal spacing between rows, and terrace density for the first and second projects in compartments 159 and 135 were 44,51 ha, 21,40 km, 7 m, 0,48 km/ha; and 22,83 ha, 12,19 km, 7 m, 0,53 km/ha, respectively. According to the 2026 unit price schedule, the time–cost analysis indicated that the measurement of the terraces in question could be completed in one day using the

UAV mapping method, at a total cost of 38.919,39 TRY. The same task, when carried out using the traditional method, requires four workers working for three days and costs 46.500,00 TRY. However, these costs may vary depending on the project area, the total terrace length, and the geographical region. The findings demonstrated that the UAV mapping method is more economical for terrace projects larger than 50 ha. For projects smaller than 50 ha, the traditional method (ground-based measurement by field workers) may be preferred, provided that there is no urgency to complete the work and no significant occupational safety risk. This study also demonstrated that terrace lengths can be determined automatically through a supervised image classification method in GIS, rather than by manual on-screen digitization. This capability will further increase the speed of the UAV mapping method and should be preferred, especially in very large project areas covering hundreds of hectares. At the end of the study, it is concluded that terrace measurements and terrace map production can be effectively performed using UAV technology, and that terrace projects for afforestation and artificial regeneration activities can be completed in practical and efficient manners.

Keywords: Terrace, Afforestation, Remote Sensing, On-screen Digitization, Supervised Classification

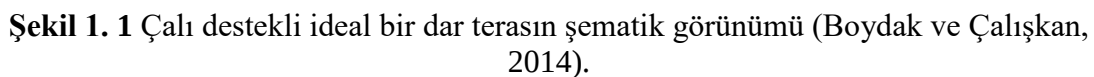
1.1 Genel Bilgiler

Toprak muhafazası, ekosistemin devamı, doğal kaynakların korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından önemlidir. Toprak, oluşumu binlerce yıl süren; buna karşın kısa sürede tahrip olabilen sınırlı bir kaynaktır. Dünya genelinde artan nüfus baskısı, plansız kentleşme ve ormansızlaşma gibi insan faaliyetleri, toprak kaybını ciddi boyutlara ulaştırmıştır.

Ağaçlandırma çalışmaları, toprak muhafazasında en etkili biyolojik yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Yapılan ağaçlandırma çalışmaları, bozulmuş ekosistemlerin rehabilitasyonu, ormanların devamı, erozyon kontrolü ve iklim değişikliğiyle mücadele açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle eğimli ve yarı kurak alanlarda yapılan ağaçlandırma projelerinde teraslama, suyun yüzey akışını yavaşlatarak toprak kaybını azaltan temel bir uygulamadır (Boydak ve Çalışkan, 2014).

Ormancılıkta ağaçlandırma, bozuk orman arazilerinin rehabilitasyonu, daha önce ağaçlık olan ancak yangın, fırtına ya da yanlış ormancılık faaliyetleri gibi çeşitli nedenlerle ağaçsız hale gelen alanlarda ve yeni ormanların kurulmasında fidanların biyolojik bağımsızlığını kazanacağı zamana kadar geçen süreç şeklinde tanımlanabilir (Acar ve Ünver, 2025). Doğal ekosistemlerin içerisinde orman arazileri önemli bir yer tutar. Orman arazilerinin artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması iklim değişikliği sorunuyla birlikte daha da önem kazanmıştır. Yanlış arazi kullanımı, hatalı ormancılık uygulamaları gibi nedenlerle meydana gelen orman alanlarındaki azalmanın önüne geçilmesindeki en etkin faaliyetlerden biri ağaçlandırma faaliyetleridir. Tarım ve Orman Bakanlığı ile Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından hazırlanan ulusal stratejiler, orman varlığını artırma, erozyon kontrolü, iklim değişikliğine uyum ve biyolojik çeşitliliği koruma hedeflerine odaklanmaktadır. Bu kapsamda, mevcut orman alanının ülke yüzölçümünün yaklaşık %30'una çıkarılması hedeflenmiş ve bu hedefe ulaşılmıştır.

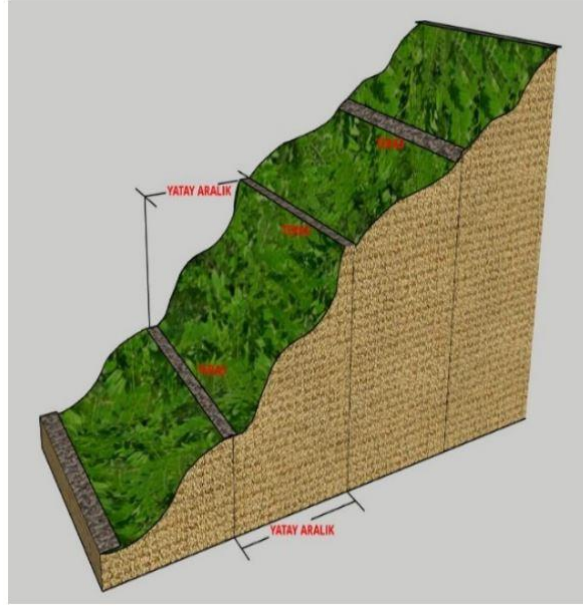
Ülkemiz ormanlara genellikle eğimli arazilerde bulunduğu için ağaçlandırma ve yapay gençleştirme çalışmalarında teras yapımı çoğunlukla gerekli olmaktadır. Boydak ve Çalışkan (2014) teras uygulamalarının genelde %20 eğimin üzerinde gerçekleştirildiğini bildirmektedir. Böylelikle eğimli arazideki toprak ve su korunmakta, dikilecek fidanlar bundan fayda sağlamaktadır. Teraslama yapılmış arazide yetişen fidanların yaşama yüzdesinin ve gelişiminin teraslama yapılmamış alanlardakilere göre daha fazla olduğu geçmişten beri iyi bilinmektedir (Aşk ve Aydemir 1967). Gradoni, kesikli teras, dar teras vb. farklı tipleri olmakla birlikte tipik bir teraslama projesinin şematik görünümü Şekil 1.1’de görülebilir.



317 numaralı yenilenmiş silvikültür tebliğine (OGM, 2024) göre teraslar, akıtıcı (eğimli) ve emdirici (eğimsiz) teras olarak iki ana tipe ayrılmaktadır. Buradaki eğim esasen yamaç eğimini değil, teras şeridi içerisindeki eğimi ifade etmektedir. Karadeniz gibi bol yağışlı bölgelerde teras yapımının amacı yamacı kırarak yüzeysel akışı azaltmak ve gelen suyun yönünü değiştirerek zararsız bir şekilde akmasını sağlamaktır. Bu tip terasların %0,5 ve %1 eğimde en fazla 400 m uzunlukta yapılması önerilmektedir (OGM, 2024). Diğer yarı kurak bölgelerde ise amaç; zaten az olan suyu teras içinde tutarak toprağa emdirmeyi sağlamaktır. İster akıtıcı ister emdirici tipte olsun teraslamaadaki ortak amaç ise toprak taşınmasını önlemektir.

Teras yapım amacından bağımsız olarak, teraslama işlemi işçi gücüyle veya mekanizasyonla yapılabilir. Karadeniz bölgesi ormanları genellikle yüksek eğimli arazilerde bulunduğu için genelde işçilerle veya mini ekskavatör ile çalışır. Aplikasyondan önce klizimetre (eğimölçer) veya tesviye pergeliyle eşyükselti eğrilerine paralel olarak işaretleme yapılır. Ülkemizin farklı bölgelerinde Buror, Meror vb. teras türleri yaygındır. Bunların isimleri ilk ve yaygın uygulamaların yapıldığı bölge müdürlüklerinin kısaltmasından oluşmaktadır (Bursa Orman Bölge Müdürlüğü, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü gibi).

317 numaralı silvikültür tebliğinde (OGM, 2024) Karadeniz Bölgesi'nde ekskavatörle yapılacak terasların yatay aralıklarının 5 m olarak planlanması ve ekskavatör palet iz genişliğinin 170 cm'yi geçmemesi tavsiye edilmektedir. Eğimin %60'ı geçtiği yapay gençleştirme alanlarında olabildiğince dar teraslar yapılmalı ve teras aralarındaki diri örtü temizlenmemelidir. İdeal olarak teras aralıkları Şekil 1.2'de gösterildiği gibi eşit mesafelerde olmalıdır ancak Karadeniz'deki kırıklı arazi yapısı (anlık eğim değişimleri) bu mesafeyi korumaya her zaman izin vermeyebilir. Söz konusu tebliğde de bu aktüel durum göz önünde bulundurularak yamaç üzerindeki aralıkların farklı olabileceği belirtilmiştir.



Şekil 1. 2 317 numaralı silvikültür tebliğine göre eğimli arazide tesis edilmiş ideal bir teras (OGM, 2024)

Teras yapımı gerçekleştirildikten sonra sıra fidan dikimine gelmektedir. Boydak ve Çalışkan (2014) bazı terasların ekimle gençleştirme yöntemi için de uygun olabileceğini belirtse de, ülkemizdeki genel uygulama uygun aralık ve mesafelerle fidan dikimi şeklindedir. Fidanlar arası mesafe ağaç türüne ve bonitete göre değişebilir. Güncel silvikültür tebliği (OGM, 2024) orman ağaçları ile yapılacak teras dikimlerinde uygulanması gereken ideal aralık-mesafe, hektarda yapılacak teras uzunluğu ve hektardaki fidan adedini net olarak bildirmektedir. Bu bilgiler Tablo 1.1’de görülmektedir.

Eğimli arazilerde yapılacak terasların Şekil 1.1 ve 1.2’de gösterildiği gibi uygun aralık, doğru derinlik ve eğimde yapılması, fidan gelişimini hem de uzun vadeli arazi stabilitesini etkilemektedir. Bu nedenle teras kontrol ve ölçümlerinin hassas, hızlı ve güvenilir şekilde yapılması gerekmektedir. Geleneksel yöntemler (tesviye pergeli-A metre, klizimetre-eğimölçer, şerit metre, ip çekme, vb.) arazi şartlarına bağlı olarak zaman kaybına ve ölçüm hatalarına neden olabilmektedir. Son yıllarda giderek gelişen İnsansız Hava Aracı (İHA) ve İHA haritalama teknikleri ise, yüksek çözünürlüklü konumsal veri üretme kapasitesiyle ormancılık ve ağaçlandırma çalışmalarında yeni olanaklar sunabilir (Akgül vd., 2016). Bu olanakların ülkemizdeki ormancılık sektöründe yeterince araştırılmadığı düşünülmektedir.

Tablo 1.1 Orman ağacı ile yapılan teras dikimlerinde fidan aralıkları ve teras yoğunluğu (OGM, 2024)

Ağaç türü	Aralık- mesafe (m)	Ha'da teras uzunluğu (m)	Ha'da dikilecek fidan (adet)
Ladin, Gökmar	2,50x1,50	3860	2660
Kayın	2,00x1,50	4825	3300
Karaçam, Sarıçam	2,50x1,25	3860	3100
Kızılçam, Sedir	3,00x2,00	3217	1660
Sahilçamı (1. bon.)	3,00x3,00	3217	1100
Ceviz, Kestane	8,00x8,00	Çukur	156
Duglaz	3,00x3,00	3217	1100
Fıstıkçamı	6,00x3,00	-	555
Meşe	2,00x1,50	4825	3300
Yalancı akasya	2,00x2,00	4825	2400
Melez kavak	5,00x5,00	Çukur	400
Yerli kavak	3,00x1,00	Çukur	2230-3340
P. Servi (tam alan)	3,00x1,50	Çukur	2220
Dallı servi	3,00x2,00	Çukur	1600
Diğer yapraklılar	3,00x3,00	Çukur	1100

Bu tez çalışması, ağaçlandırma ve yapay gençleştirme sahalarında teras yapımı ve ölçümü için İHA destekli uzaktan algılama teknolojilerinin kullanım olanaklarını incelemeyi; bu teknolojilerin sunduğu avantajları, sınırlılıkları ve potansiyel uygulama alanlarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında elde edilecek bulguların, ağaçlandırma faaliyetlerinin ve teras projelerinin daha geniş alanlarda daha etkin planlanması,

izlenmesi ve değerlendirilmesine katkı sağlaması; aynı zamanda ülkemizdeki ormancılık sektörüne dijital ve teknolojik dönüşüm sürecinde bilimsel bir altlık oluşturması hedeflenmektedir.

1.2 Literatür zeti

Gerçekleştirilen literatür çalışması neticesinde Acar ve nver (2025)'in yakın zamanda ağaçlandırma ve bakım konusunda İHA haritalamanın doğruluğunu araştıran bir çalışma yürüttükleri görülmüştür. İlgili alışma kapsamında ağaçlandırma faaliyetlerinin günümüzde yüksek doğruluk oranında hesaplamalar yapabilen İHA teknolojisi ile etkin şekilde gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir. Ayrıca İHA teknolojisi ile ağaçlandırma faaliyetlerinin planlanması ile orman işletmelerine ekonomik, verimlilik ve güvenlik açısından önemli faydalar sağlanabileceği tespit edilmiştir. Yapılan ölçümlerde zamandan ve iş gücünden tasarruf edilmiştir. Araştırmacılara göre normal şartlar altında, geleneksel yöntemlerle yapılacak yersel ölçümlerle beş kişinin iki günde bitireceği alışma, İHA haritalama yöntemiyle tek operatör ile yarım günde tamamlanmıştır (Acar ve nver, 2025).

Literatürdeki diğer çalışmalar daha çok hassas tarım konusuna odaklanmışlardır. İHA'ların tarımsal alanlarda hassas tarım uygulamalarındaki kullanımını inceleyerek, İHA tabanlı uzaktan algılama verilerinin bitki gelişiminin izlenmesi ve verim tahmininde sağladığı katkıları ortaya koyan çalışma sayısı fazladır. Örneğin Sarabia vd. (2020), multispektral sensörlerle elde edilen yüksek znrlkl görüntüler kullanılarak bitki örtüsü indekslerini hesaplanmış ve bu indekslerin ürün sağlığı, stres durumu ve konumsal değişkenliğin belirlenmesinde etkin olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, İHA teknolojisinin tarımsal üretimde girdi kullanımını optimize etmeye, erken müdahale imkânı sağlamaya ve karar destek süreçlerini güçlendirmeye olanak tanıdığını ortaya koymuştur (Sarabia vd., 2020). Videras Rodrguez vd. (2021)'de benzer konuda çalışmış ve Sarabia vd. (2020) ile benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Ulvi ve Yiğit (2020) ise İHA'lardan elde edilen yüksek znrlkl görüntüler kullanarak sayısal yüzey modelleri (SYM) ve ortofoto haritalar üretmiş, bu verilerin yollardaki kazı–dolgu hacimlerinin belirlenmesi ve inşaat faaliyetlerinin zamansal olarak izlenmesindeki doğruluğunu analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, İHA teknolojisinin inşaat projelerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağladığını, aynı zamanda ölçüm güvenilirliğini artırarak geleneksel yöntemlere etkili bir alternatif sunduğunu ortaya

koymuştur. Akgl vd. (2016)'nin çalışması da benzer yöntemlerin ormancılık uygulamalarında kullanılabileceğini, özellikle orman yol açı planlamasında gerekli ölçümlerin İHA verileri üzerinden yapılabileceğini açıkça göstermektedir.

İHA haritalama yöntemi ağaçlandırma projeleri, hassas tarım ve orman yolu planlaması yanı sıra meşcerelerin kapalılık ölçümlerinde de kullanılabilmektedir. Örneğin, Álvares vd. (2018) İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama verilerinin orman ekosistemlerindeki tepe boşluklarının belirlenmesi ve haritalanmasında etkinliğini ortaya koymuştur. Çalışmada, İHA tabanlı fotogrametrik verilerden üretilen SYM ve bitki örtüsü yapısını temsil eden yükseklik analizleri kullanılarak tepe boşluklarının konumu, büyüklüğü ve dağılımı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları, İHA teknolojisinin orman yapısının detaylı analizinde yüksek doğruluk sağladığını ve geleneksel arazi çalışmalarına kıyasla daha hızlı ve maliyet etkin bir yöntem sunduğunu ortaya koymuştur.

Benzer şekilde, Schiefer vd. (2020) de SYM ve fotogrametrik veriler kullanarak orman arazilerindeki ağaçların konumları belirlemiş, hacim ve yoğunluk analizlerini yapmıştır. Bu verilerin kesim planlamasında, transportta ve kaynak yönetiminde sağladığı katkıları değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, İHA teknolojisinin ormancılıkta saha izleme ve kaynakların etkin değerlendirme süreçlerini hızlandırdığını, hassasiyet ve maliyet açısından geleneksel yöntemlere göre daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Talbot vd. (2018) ise benzer yöntemleri orman amenajmanı ve planlama açısından ele almış ve orman yapısı yanı sıra hacim ve boy artımını da analiz etmiştir. Sonuçta, İHA haritalama yönteminin sürdürülebilir orman yönetimi için faydalı olabileceğini belirtmiştir. Cromwell vd. (2021) de aynı konularda çalışmış ve diğer araştırmacıların sonuçlarını destekleyici bulgulara ulaşmışlardır. Ormancılık açısından sonuçlar, İHA teknolojisinin orman sahalarında hızlı, hassas ve maliyet etkin veri toplama imkânı sağlayarak geleneksel yöntemlere güçlü bir alternatif sunduğunu ve orman amenajmanında karar destek süreçlerini önemli ölçüde geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

Ağaçlandırma ve orman amenajmanı haricinde de ekosistem sağlığı ve yaban hayatı gibi konularda İHA haritalama çalışmalarına rastlanmaktadır. Dainelli vd. (2021) İHA kullanarak orman sağlığının izlenmesi ve değerlendirilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir. Araştırmada, İHA'lerden elde edilen multispektral ve termal görüntüler kullanılarak ağaçların stres durumu, hastalık ve zararlı etkileri analiz edilmiş; SYM ve bitki indeksleri aracılığıyla orman sağlığı göstergeleri hassas bir şekilde belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, İHA tabanlı haritalamanın orman ekosistemlerinin

izlenmesi ve erken müdahale stratejilerinin geliştirilmesinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Ecke vd. (2022) ise İHA'dan elde edilen yüksek çözünürlüklü optik görüntülerin yaban hayatı ve habitat araştırmalarında kullanımını incelemiştir. Çalışmada, İHA verileri kullanılarak türlerin mekânsal dağılımları, popülasyon yoğunlukları ve yaşam alanlarının uygunluğu analiz edilmiş; görüntü işleme teknikleriyle habitat özellikleri ve türlerin alan içi hareketleri tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, İHA tabanlı uzaktan algılama teknolojisinin geleneksel gözlem ve izleme yöntemlerine kıyasla daha hızlı, daha geniş alanları kapsayan ve düşük maliyetli bir çözüm sunduğunu göstermiştir.

Koontz vd. (2022) ise orman yangınları konusuna odaklanmış ve İHA ile riskli alanların belirlenmesi ve yangın sonrası etkilerin değerlendirilmesine yönelik bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada, İHA'lardan elde edilen multispektral ve termal görüntüler kullanılarak yangın öncesi ve sonrası bitki örtüsü durumu analiz edilmiş, yangın etkilerinin mekânsal dağılımı ve şiddeti belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, İHA tabanlı uzaktan algılama teknolojisinin yangın yönetimi ve afet planlamasında hızlı, doğru ve maliyet etkin veri sağladığını, orman yangınlarına müdahale ve risk azaltma stratejilerinde geleneksel yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sunduğunu göstermiştir.

De Vivo vd. (2021) ise 2021 yılında gerçekleştirdiği çalışmada heyelan risk analizi ve arazi stabilitesinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. Çalışmada, İHA tabanlı ortofoto haritalar ve SYM kullanılarak eğim, bitki örtüsü gibi heyelanı etkileyebilecek faktörler analiz edilmiştir. Aktif heyelan alanlarının konumsal dağılımı ve risk düzeyi hassas bir şekilde belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, İHA tabanlı dijital haritalamanın heyelan risk yönetimi ve önleyici arazi planlamasında etkili bir araç olabileceğini ortaya koymuştur. Ülkemizdeki araştırmacılardan Eker vd. (2018)'nin Avusturya'da gerçekleştirdikleri çalışmanın sonuçları da De Vivo vd. (2021)'i desteklemektedir.

Bu çalışmalardan görüldüğü üzere İHA teknolojisinin ormancılıktaki kullanım amaçları çok çeşitlidir. İHA'lar ülkemizde ve uluslararası camiada ormancılık alanı dışında da birçok sektörde kullanılmaktadır. Örneğin, ülkemizdeki araştırmacılardan Ulukavak vd. (2019) İHA tabanlı SYM ve ortofoto haritalar üretmiş ve bu ürünlerin arkeolojik yapıların mekânsal dağılımının belirlenmesi ve mevcut durumlarının analiz edilmesinde sağlayabileceği katkıları değerlendirmiştir. Araştırmacıların elde ettiği bulgular, söz konusu ürünlerin arkeolojik alanlarda hızlı, hassas ve düşük maliyetli bir dokümantasyon

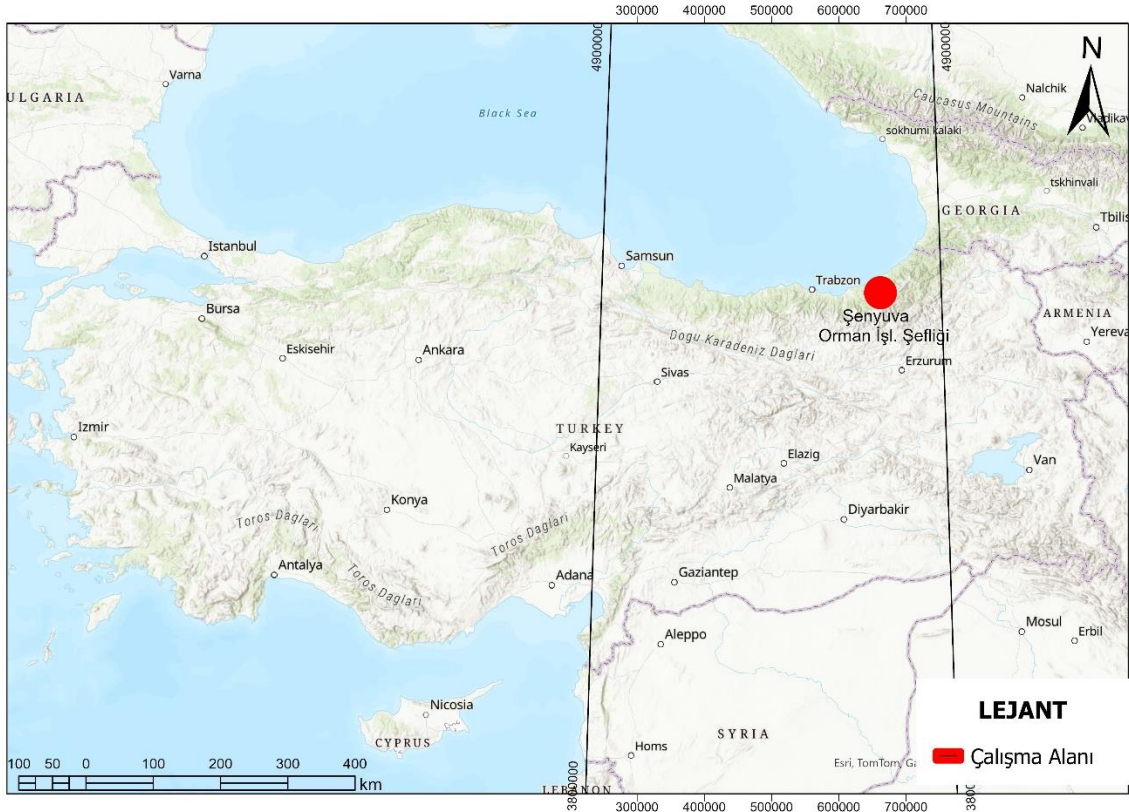
aracı olarak etkin biçimde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca arkeolojik yapıların üç boyutlu modellenmesi de mümkündür. Böylelikle bu önemli yapıların geometrik özellikleri belirlenebilir ve genel sahanın aktüel durumu belgelenebilir.

Tüm çalışmalar toplu olarak değerlendirildiğinde, İHA teknolojisinin tarım, ormancılık, arkeoloji, inşaat ve diğer disiplinlerde giderek daha popüler hale geldiği ve özellikle son 10 yıl içerisinde akademik araştırmalarda ciddi bir artış trendi yaşandığı anlaşılmaktadır. İHA sistemlerinin son yıllarda bu derece ilgi görmesi; düşük maliyet, yüksek hız ve çözünürlük, tekrarlı uçuş kabiliyeti ve hassas veri ölçümü gibi avantajlara bağlı olabilir. Ayrıca bu sistemlere RGB, multispektral ve termal farklı sensörler takılarak izleme ve haritalama objesi rahatlıkla değiştirilebilir (McClelland II vd., 2018; Shakhathreh vd., 2019). Bunlara ilaveten, İHA'ların otonom sistemler ve robotik uygulamalarla entegrasyonu mümkün olup gerçek zamanlı veri işleme, gerçek zamanlı karar alma gibi özellikler, uygulamacılara esneklik sunabilir (Potente vd., 2021). Diğer yandan, Chen vd. (2022) İHA'ların çevresel izleme çalışmalarındaki dezavantajları ve sınırlılıklarını ele alan bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada, İHA'ların sınırlı batarya süresinin uçuş süresini kısıtladığı, GPS sinyal kaybının özellikle ormanlık arazilerde veri doğruluğunu olumsuz etkileyebildiği, rüzgâr, yağış gibi olumsuz meteorolojik koşulların uçuş güvenliği ve veri kalitesi üzerine olumsuz etkileri olabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca, farklı ülkelerde uygulanan farklı yasal ve idari düzenlemelerin İHA kullanımını sınırladığı, özellikle yerleşim alanlarına yakın bölgelerde operasyonel kısıtların bulunduğunu belirten çalışmalar da literatürde mevcuttur (Golizadeh vd. 2019). Her teknolojiye olduğu gibi, İHA sistemlerinin de sunduğu önemli avantajlar yanı sıra dezavantajları da bulunabileceği her zaman akılda tutulmalıdır.

2 MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Şenyuva Orman İşletme Şefliği'ndeki (OİŞ) 135 ve 159 numaralı bölmeler seçilmiştir. Bu bölmelerin seçilme nedeni; teraslama faaliyetlerinin burada olmasıdır. Şenyuva OİŞ Rize ili, Çamlıhemşin ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. İdari bakımdan Trabzon Orman Bölge Müdürlüğü (OBM), Pazar Orman İşletme Müdürlüğü'ne (OİM) bağlıdır (Şekil 2.1). İşletme şefliğinin ormanlık alan olarak 11627,9 ha, ağaçsız orman alanı olarak 636,0 ha olmak üzere toplam 12263,9 ha orman arazisi vardır. Orman dışı alanı ise 6484,5 ha'dır. Dolayısıyla, Şenyuva OİŞ'nin toplam alanı 18748,4 ha olmaktadır. Toplam 207 adet bölmeden oluşan şeflikteki tüm ormanların mülkiyeti devlete aittir (OGM, 2020).



Şekil 2. 1 Çalışma alanı Şenyuva Orman İşletme Şefliği'nin konumu

Çalışma alanının arazisi dağlık, oldukça eğimli ve engebelidir. Dolayısıyla, gerek ormancılık faaliyetleri (kesim, gençleştirme, bakım, yol inşaatı, vd.), gerekse teras yapımı gibi ağaçlandırma faaliyetleri zahmetli ve masraflı olmaktadır. Teras yapımından sonra eksvatörle açılan teras sıralarına inerek yamaç arazide ölçüm yapmak da hem riskli hem de yüksek hatalı olmaktadır. Çalışma alanı olarak bu OİŞ'nin seçilmesinin nedenlerinden biri de budur.

Bölgedeki iklim tipi, Erinç'e göre "Doğu Karadeniz İklim Bölgesi"nde kalmaktadır. Bu iklim tipinin özellikleri; her mevsim mutedil yağışlı, sıcaklık bakımından deniz iklimi karakteri taşır. Kışları ılık, yazları nispeten fazla sıcak ve yağışlıdır. Şefliğe en yakın ilçe merkezi Çamlıhemşin'dir. Bu ilçe 2036 mm'lik yıllık yağış alan Pazar ilçesinin 26 km güney doğusunda yer almaktadır (OGM, 2020). Yetiştirme ortamı ve bitki örtüsü arasında doğal bir uyum vardır. Birlikte yaşayan bitki türleri yetiştirme ortamı şartlarını açık bir şekilde yansıttıklarından dolayı floristik birlikler aynı zamanda ekolojik ünitelere de tekabül eder.

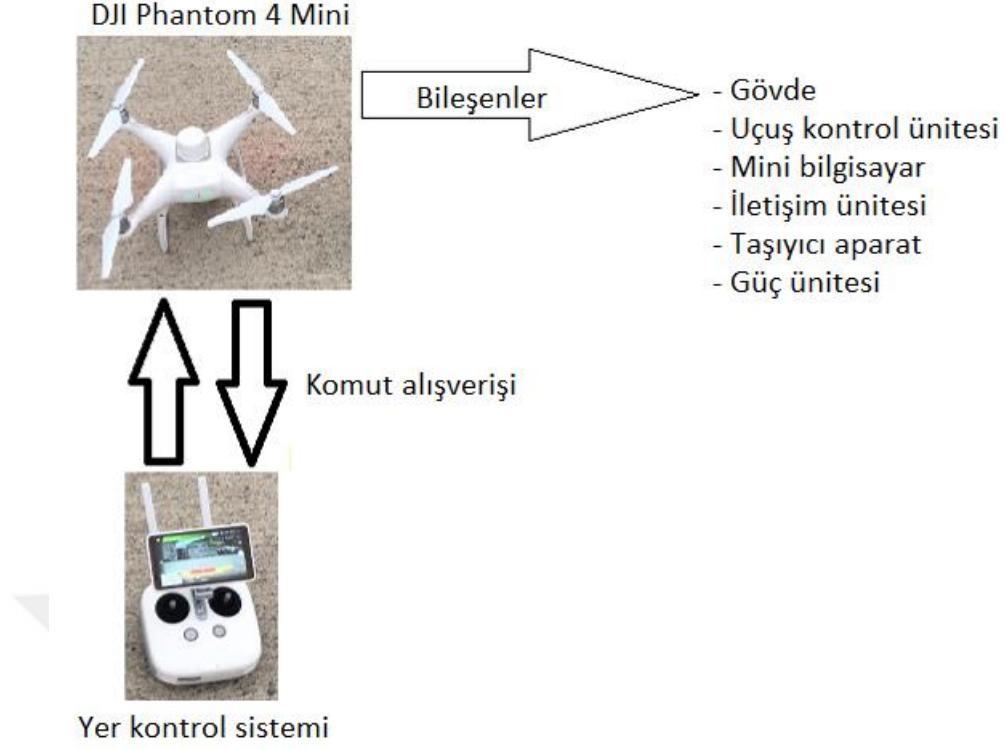
Ağaç türleri ve karışım bakımından meşcereler, saf ve karışık olarak ayrılmıştır. Ağaç sayısı ve servet yönünden > %90 aynı türden oluşmuş meşcereler saf meşcere; hacmen en az %10 oranında değişik ağaç türlerinden oluşan meşcere tipleri ise karışık meşcere olarak ayrılmıştır. Şenyuva OİŞ'nde meşcere oluşturan önemli ağaç türleri ve rumuzları Tablo 2.1'de gösterilmiştir. 135 ve 159 no.lu bölmelerdeki asli ağaç türleri ise Kayın, Ladin ve Gökmar'dır.

Tablo 2.2 Şenyuva Orman İşletme Şefliği’ndeki ağaç türleri ve rumuzları

Ağaç türü	Rumuz
Ladin	L
Kayın	Kn
Gök nar	G
Gürgen	Gn
Akça ağaç	Ak
Kestane	Ks
Kızı lağ aç	Kz

2.2 Materyal

Bu çalışmada kullanılan ana materyaller; İHA, Şenyuva OİŞ orman amenajman planında yer alan konumsal veri tabanı, teras çalışmalarına ait plan-projeler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri’dir (CBS). İHA olarak Artvin Çoruh Üniversitesi (AÇÜ) Mühendislik Fakültesi envanterinde bulunan DJI Phantom 4 RTK sistemi kullanılmıştır. Sistemin toplam ağırlığı yaklaşık 1,4 kg olup tek bataryada uçuş süresi maks. 25-30 dk’dır. DJI Phantom 4, konum belirlemede GPS, Glonass, Beidou ve Galileo sistemlerini kullanabilmektedir. Optik kamerası 20 megapikselli CMOS sensöre sahiptir. Bu sensör tek fotoğrafta 5472*3648 piksel çözünürlük sunabilmektedir (Peppas vd., 2019). İHA uçuşu esnasında yer örnekleme mesafesi (GSD) yaklaşık yükseklik/36,5 cm/pikseldir. Dolayısıyla, yerden yükseklik arttıkça mekânsal çözünürlük düşmektedir. Söz konusu İHA’nın görüntüsü ve sistemin temel bileşenleri Şekil 2.2’den görülebilir.



Şekil 2. 2 Kullanılan İnsansız Hava Aracının görünümü ve temel bileşenleri

Şenyuva OİŞ’ne ait güncel orman amenajman planı ve konumsal veri tabanı (OGM, 2020) çalışmanın diğer materyalini oluşturmaktadır. Veri tabanında yer alan meşcere haritası bölmelerin belirlenmesinde, çalışma sahaslarındaki ağaç türlerinin tespitinde ve diğer konumsal analizlerde kullanılmıştır. Söz konusu analiz ve değerlendirmeler CBS yazılımlarından ArcGIS Pro (Esri, 2023) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu bölmelerde gerçekleştirilen teras çalışmalarına ait plan, proje ve ihale dosyaları da şeflikten temin edilmiştir.

2.3 Yöntem

Çalışmanın yöntemi temelde dört kısımdan oluşmaktadır: (i) İHA uçuşunun gerçekleştirilmesi ve ortofoto haritaların üretimi, (ii) ortofoto haritalar üzerinde görünen terasların CBS’de ölçümü, (iii) terasların otomatik sınıflandırılması ve ölçüm sonuçlarının doğruluk değerlendirmesi ve (iv) zaman-maliyet analizi.

İki ayrı çalışma alanının haritalanması için iki ayrı İHA uçuşu 2020 yılında planlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 25 Ağustos 2020 tarihinde 135 ve 159 numaralı bölmelere harita mühendisi ve dönemin orman işletme şefiyle birlikte işletmeye ait 4x4

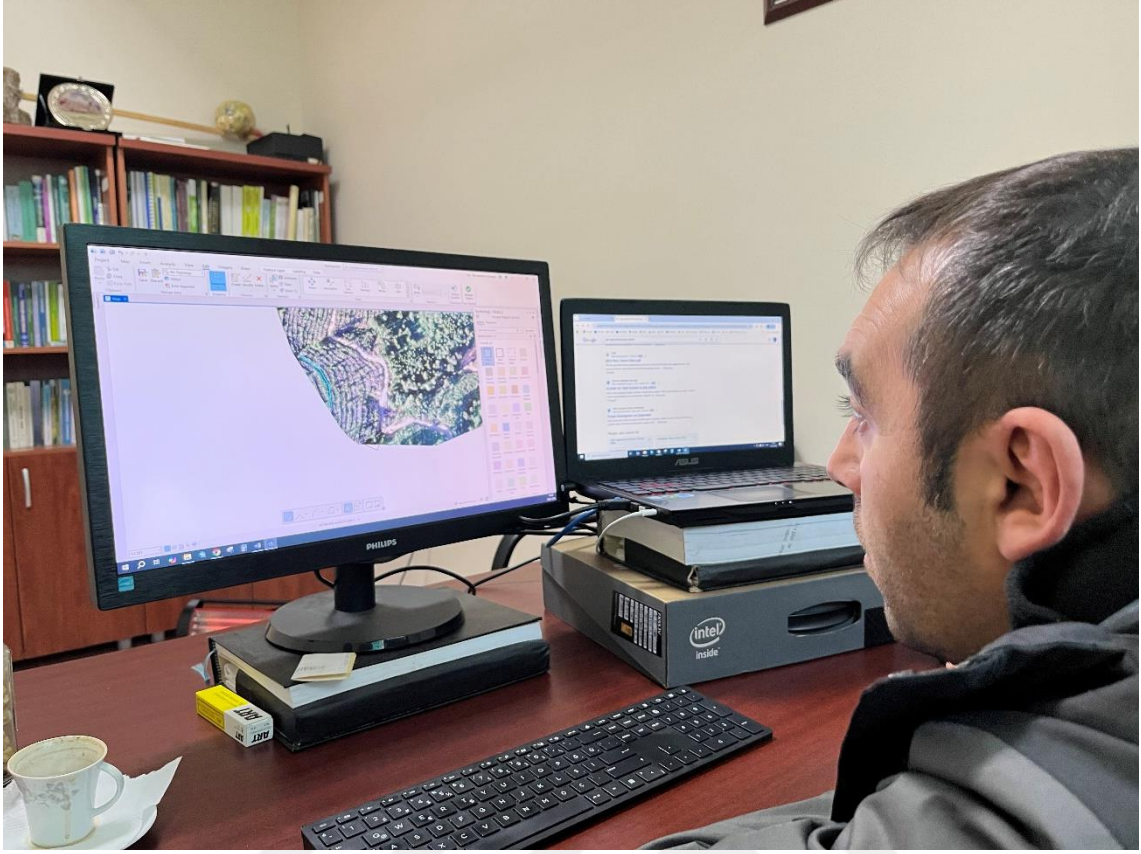
arazi aracıyla gidilmiştir. Bu bölmeler yoğun teras uygulaması gerçekleştirilen bölmelerdir. Bölmelerin ortasından geçen orman yolunun uygun bir yerinde durulmuş ve tüm bölmeyi kapsayacak şekilde uçuş planlanmıştır. DJI Phantom modeliyle beraber gelen yazılım otomatik uçuş planlamasını gerçekleştirmektedir. Kullanıcının bu noktada yapması gerekenler; kapsanacak alanı Basemap haritadan seçmek, uçuş yüksekliğini ve bindirme oranlarını belirlemektir. Devamında uçuş başlatılmakta ve seçilen alana ait hava fotoğrafları tamamlandığında İHA uçuşa başladığı noktaya geri dönmektedir. Arazi çalışmalarını uzatması, İHA'nın RTK sistemine sahip olması ve ormancılık çalışmalarında cm düzeyinde doğruluğa ihtiyaç olmaması nedenleriyle bu çalışmada yer kontrol noktaları kullanılmamıştır. 5-10 cm düzeyindeki muhtemel hata payının teras ölçümleri için kabul edilebilir olduğu düşünülmüştür.

Görüntü işleme, SYM üretimi ve ortofoto haritanın oluşturulmasında Pix4Dmapper yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım İHA'nın çektiği koordinatlı tekil hava fotoğraflarını kendi konumlarına oturtmakta, gerekli yönlendirmeleri yapmakta ve onları üst üste ve yan yana bindirerek iki ve üç boyutlu görüntüleri oluşturmaktadır (Şekil 2.3). Bu fotogrametrik üretim sürecine ilişkin detaylar Zeybek ve Biçici (2020)'nin çalışmasından görülebilir. Ortofoto harita ve SYM üretimi haricinde farklı bir görüntü işleme uygulaması yapılmamıştır.



Şekil 2. 3 İHA uçuşu esnasında alınmış tekil hava fotoğrafından bir görüntü

İkinci aşamada, üretilen ortofoto haritalar ArcGIS Pro CBS yazılımına aktarılmıştır. CBS’de veritabanı kurularak her iki teras sahasına ait çizgi ve alan özellikli vektör katmanları oluşturulmuştur. Buradaki çizgi katmanı orman yolu ve teras uzunluklarının, alan katmanı ise teras sahasının belirlenmesi için gereklidir. Bu katmanlar açılarak Edit komutuyla ekrandaki ortofoto harita üzerinden sayısallaştırma gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4). Ölçümlerin hassas şekilde gerçekleştirilebilmesi için 1:4.000 ölçekte çalışılmıştır (Şekil 2.5). Tüm teras sıraları sayısallaştırıldıktan sonra ArcGIS Pro’nun Statistics özelliği yardımıyla toplam teras uzunluğu hesaplanmıştır. Yamaç boyunca birbirine paralel kaç sıra olduğu manuel olarak sayılarak tespit edilmiştir. Sıralar arası aralık-mesafeler ise Measure komutu yardımıyla ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır. Diğer taraftan, vektör tabanlı teras proje haritalarının uygun şekilde üretilebilmesi için sahadaki orman yolları ve sahanın sınırları da sayısallaştırılmıştır. Teras sahasının sınırlarının sayısallaştırılmasıyla sayesinde her iki çalışma alanının genel sahası tespit edilmiştir. Son olarak, tüm katmanlar SYM üzerinde açılmış ve teras sıralarının eş yükselti eğrilerine paralel uzanıp uzanmadığı değerlendirilmiştir.



Şekil 2. 4 İHA ile üretilmiş ortofoto harita üzerinden terasların sayısallaştırılması

Üçüncü aşamada ortofoto haritanın otomatik sınıflandırılması ve teras ölçümlerinin doğruluk değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Otomatik sınıflandırma işlemi geniş alanlarda uygulanacak projelerde binlerce km²'yi bulabilen terasların ekrandan manuel ölçüme gerek kalmadan daha hızlı bir şekilde sayısallaştırılması için önemlidir. Ayrıca, buradan çıkan ölçüm sonuçları manuel ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılarak doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, öncelikle 100×100 m²'lik (1 ha) bir deneme alanı CBS ortamında ortofotodan kesilerek çıkartılmıştır. Bu alana ait görüntü ArcGIS Pro'nun *Spatial Analyst > Maximum Likelihood Classification* fonksiyonuyla kontrollü sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur (Esri, 2023). Teras, ağaç, diri örtü ve gölge olarak dört farklı sınıf tanımlanmıştır. Gölge sınıfı özellikle boylu ağaçların yamaca düşen gölgesini temsil etmek için kullanılmıştır. Sınıflandırma işleminden sonra raster verideki teras sınıfı *Spatial Analyst > Reclassify* ve *Conversion Tools > Raster to Polygon* fonksiyonu ile vektör veri formatına (poligon tipi) çevrilmiştir. Görüntü çok yüksek çözünürlüklü olduğu için poligon kenarlarındaki zikzakları gidermek için ArcGIS Pro'nun *Smooth Polygon* komutu kullanılmıştır (Esri, 2023). Bu komuttaki tolerans

genişliği 15 m olarak ayarlanmıştır. Devamında *Polygon to Centerline* komutu kullanılarak teras poligonlarının ortasından geçen hat otomatik olarak sayısallaştırılmıştır (izgi tipi). Böylelikle çizgilerin konumu terasların yerini, çizgilerin uzunluğu ise toplam teras uzunluğunu verecektir. Bu uzunluk değeri, aynı deneme alanına (1 ha) düşen manuel teras ölçüm (ekrandan bakarak sayısallaştırma) sonucuyla karşılaştırılarak doğruluk değerlendirmesi tamamlanmıştır.

Son aşamada ise geleneksel ölçüm ve İHA haritalama yöntemleri zaman-maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, OGM'nin web sitesinde her yıl yayınlanan birim fiyat cetvellerinden 2026 yılına ait olan cetvel kullanılmıştır (URL, 2026). Bu cetvelde 2214 poz numaralı işin çeşidi; projelere ilişkin hava fotoğrafı ve uydu görüntülerini projelerin amaçları doğrultusunda yorumlamak ve mevcut proje üzerine işlenmesidir. İşin tanımı *“Arazide İHA (İnsansız Hava Aracı) ile zemin örnekleme mesafesi (Ground Sampling Distance) en az 5 cm veya daha yüksek znrlkl alınan hava fotoğraflarından büroda projelerin amaçları doğrultusunda yorumlamak ve mevcut haritalar üzerine işlemek”* şeklinde yapılmaktadır. Bu bağlamda 0,1 ve 100 ha arası (100 ha dahil) büyüklükteki sahalarda gerçekleştirilecek İHA haritalama işinin güncel fiyatı adet olarak verilmiştir (poz no. 2214.1). Benzer şekilde, 2214.3 poz numaralı işin tanımı ise *“2214.1 ve 2214.2'nin değerlendirilmesi sonucu elde edilen veri üzerinde büroda CBS ortamında üretilmesi, değerlendirilmesi (Alan dış sınırı, **teras ölçümü**, ihata uzunluğu, servis ve yangın emniyet yolu uzunluğu v.b.)”* şeklinde yapılmıştır. Bu işin güncel fiyatı da km cinsinden verilmiştir (poz no. 2214.3). İlgili birim fiyatlar kullanılarak, bu tez çalışmasında gerçekleştirilen işlemlerin güncel maliyetleri hesaplanmıştır. Ayrıca, teras ölçümlerinin geleneksel yöntemle yapılmasının maliyeti de amlıhemşin yöresinde bu iş için kaç işçinin ne kadar süreyle çalıştırıldığı ve 2026 yılı itibariyle işçilere ödenen yövmiye miktarı öğrenilerek hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonunda bulunan maliyetler birbiriyle karşılaştırılarak zaman-maliyet analizi gerekleştirilmıştır.

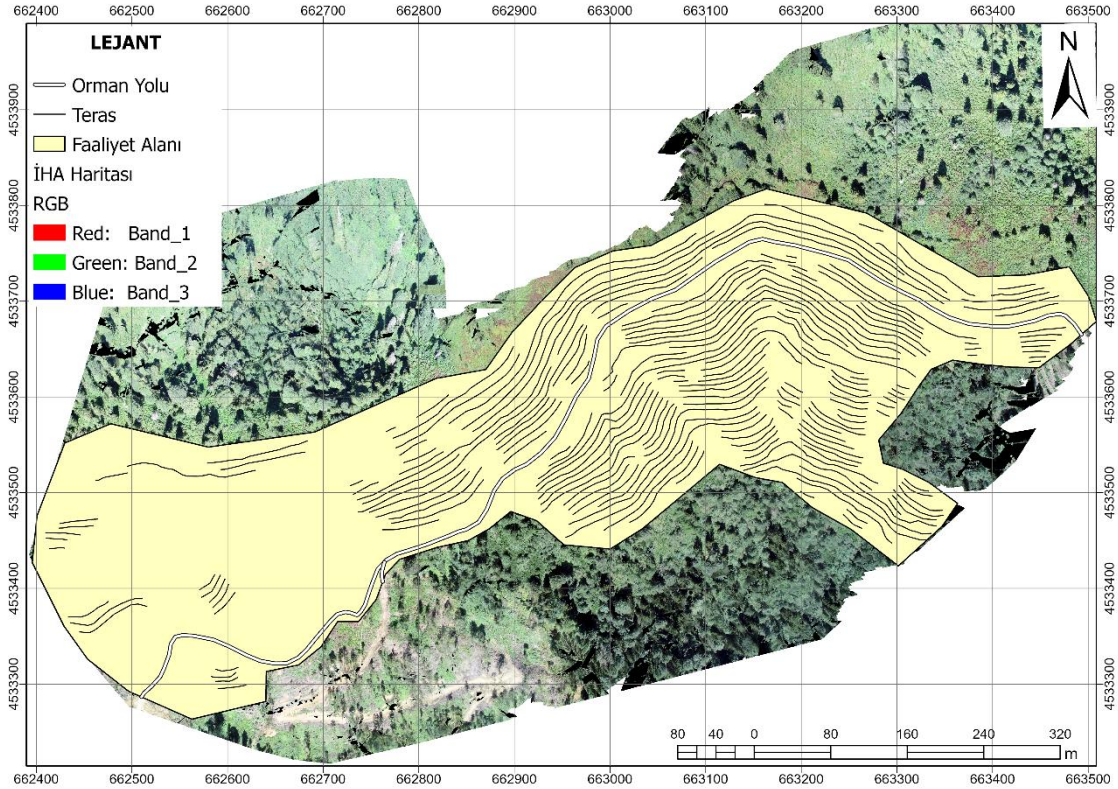


Şekil 2. 5 1:4,000 ölçekte gerçekleştirilen sayısallaştırma işlemi esnasında görüntü üzerinde görülebilen detaylar. Teras içindeki kesim artıkları, sahadaki dikili kuru ağaçlar ve diri örtü tabakasının seçilebildiğine dikkat ediniz.

3 BULGULAR VE TARTIŞMA

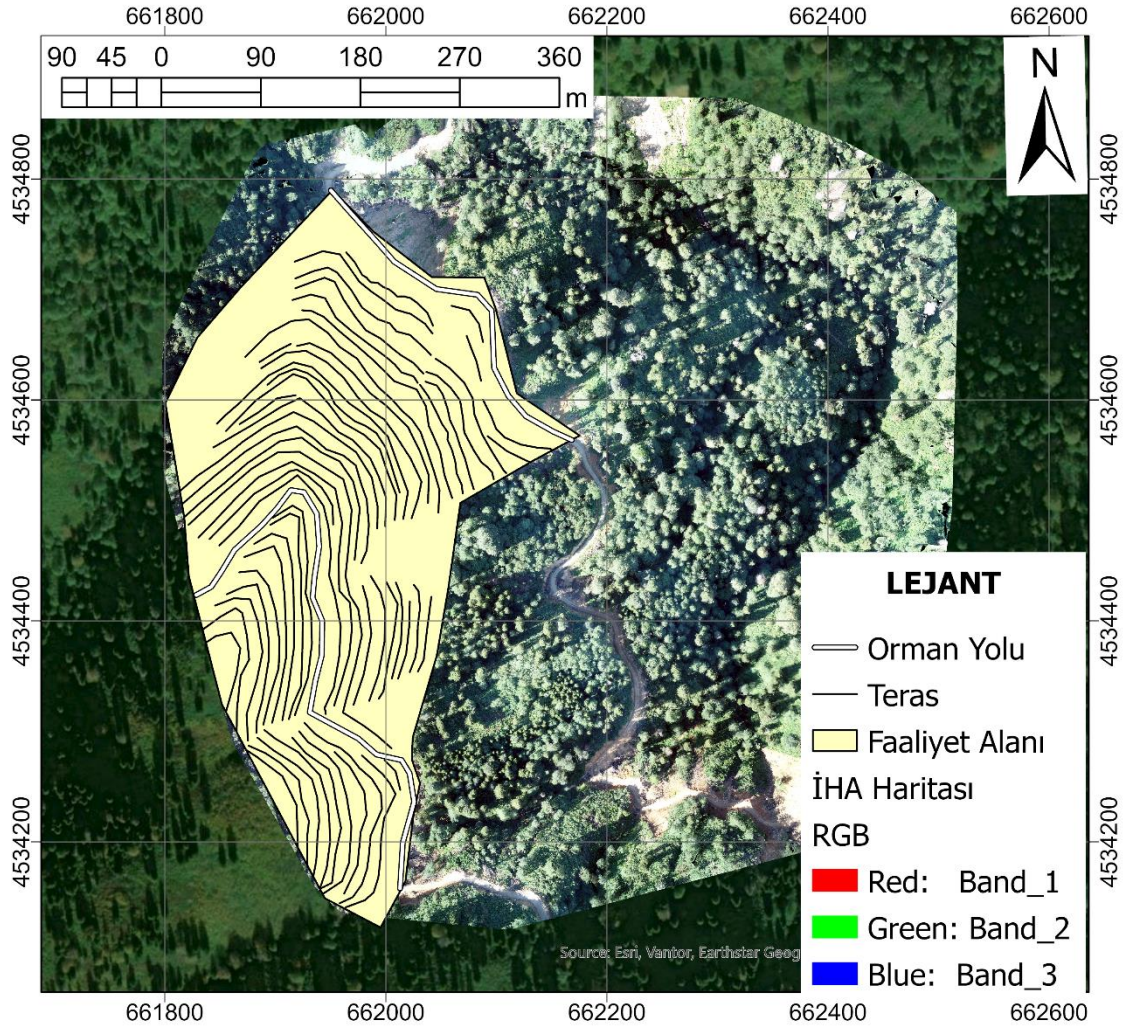
3.1 Teras Ölçümlerine İlişkin Bulgular

CBS ortamında İHA haritaları üzerinden yapılan değerlendirmelere göre 159 numaralı bölgede bulunan birinci teras sahasının büyüklüğü 44,51 ha olarak hesaplanmıştır. Bu sahanın oldukça eğimli ve kırıklı olması nedeniyle sahanın tamamında faaliyet yürütülemediği anlaşılmaktadır. Toplam sahanın yaklaşık 7-8 ha'lık alanında teras yapılamamıştır. Ortadan geçen orman yolunun altında ve üzerinde olmak üzere toplam 32 sıra teras yapılmıştır. Teras sıraları arasındaki mesafe ort. 7 m olarak ölçülmüştür. Toplam teras uzunluğu ise 21,40 km'dir. Teras sahasının haritası ve etrafının İHA görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 159 numaralı bölgede bulunan birinci teras sahasının haritası.

135 numaralı bölmede bulunan ikinci teras sahasının büyüklüğü 22,83 ha olarak hesaplanmıştır. Bu saha bir önceki sahadan daha küçük olup daha düzenli bir yapıya sahiptir. Dolayısıyla, tüm sahada çalışıldığı ve teras çalışmasının daha muntazam şekilde gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Birinci sahaya benzer şekilde, bu sahanın da ortasından orman yolu geçmektedir. Yolun altında ve üzerinde olmak üzere toplam 29 sıra teras yapılmıştır. Teras sıraları arasındaki mesafe birinci sahaya benzer olup, ort. 7 m olarak ölçülmüştür. Toplam teras uzunluğu ise 12,19 km'dir. Diğer bir ifadeyle, birinci sahanın yaklaşık yarısı kadar uzunlukta teras yapılmıştır. İkinci teras sahasının haritası ve etrafının İHA görüntüsü Şekil 3.2'de sunulmuştur. Her iki teras sahasına ait ayrıntılı bilgiler Tablo 3.1'de görülebilir.



Şekil 3. 2 135 numaralı bölmede bulunan ikinci teras sahasının haritası

Tablo 3.3 Teras sahalarına ilişkin ölçüm ve diğer bilgiler

	1. Teras Sahası	2. Teras Sahası
Bölme No.	159	135
Toplam Alan (ha)	44,51	22,83
Teras Sayısı	194	57
Teras Sıra Sayısı	32	29
Teraslar Arası Mesafe (m)	7	7
Teras Uzunluğu (km)	21,40	12,19
Teras Yoğunluğu (km/ha)	0,48	0,53

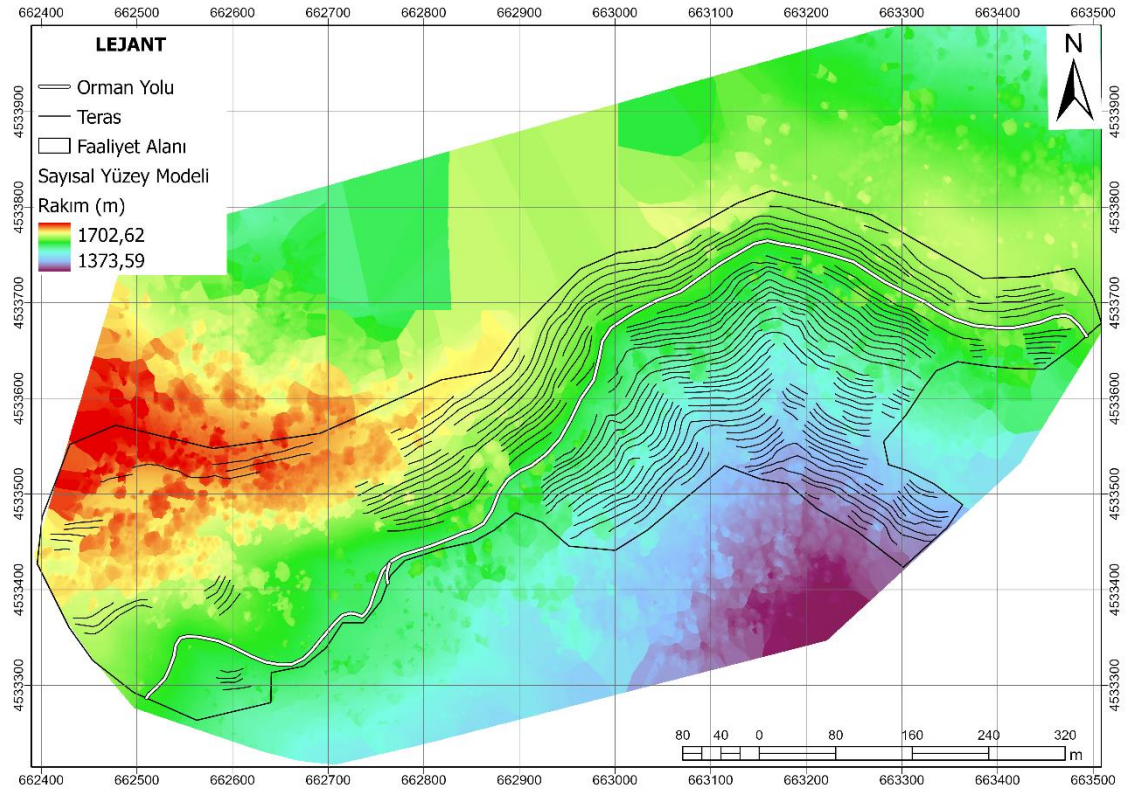
3.2 İHA Uçuşuna İlişkin Bulgular

İHA uçuşu yerden 80 m yükseklikte gerçekleştirilmiştir. Ardışık hava fotoğraflarının bindirme oranı ise %70 olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle, uçuş esnasında birbirini takip eden iki fotoğrafın kapsadığı alanın %70'i aynı alandır. Bu husus önemlidir çünkü aynı alanın farklı açılardan fotoğraflanması sayesinde üç boyutlu görüntü, nokta bulutu ve diğer ürünler fotogrametrik yöntemlerle üretilebilmektedir. Uçuşlar birinci ve ikinci teras sahaları için sırasıyla 20 ve 15 dk. sürmüştür. Tüm fotoğraflar nadir perspektiften yani kamera yatayla 90° açı yapacak şekilde alınmıştır. Birinci teras sahasında gerçekleştirilen uçuş neticesinde toplam 67 hava fotoğrafı, ikinci sahadan ise 103 hava fotoğrafı alınmıştır (Şekil 3.3).



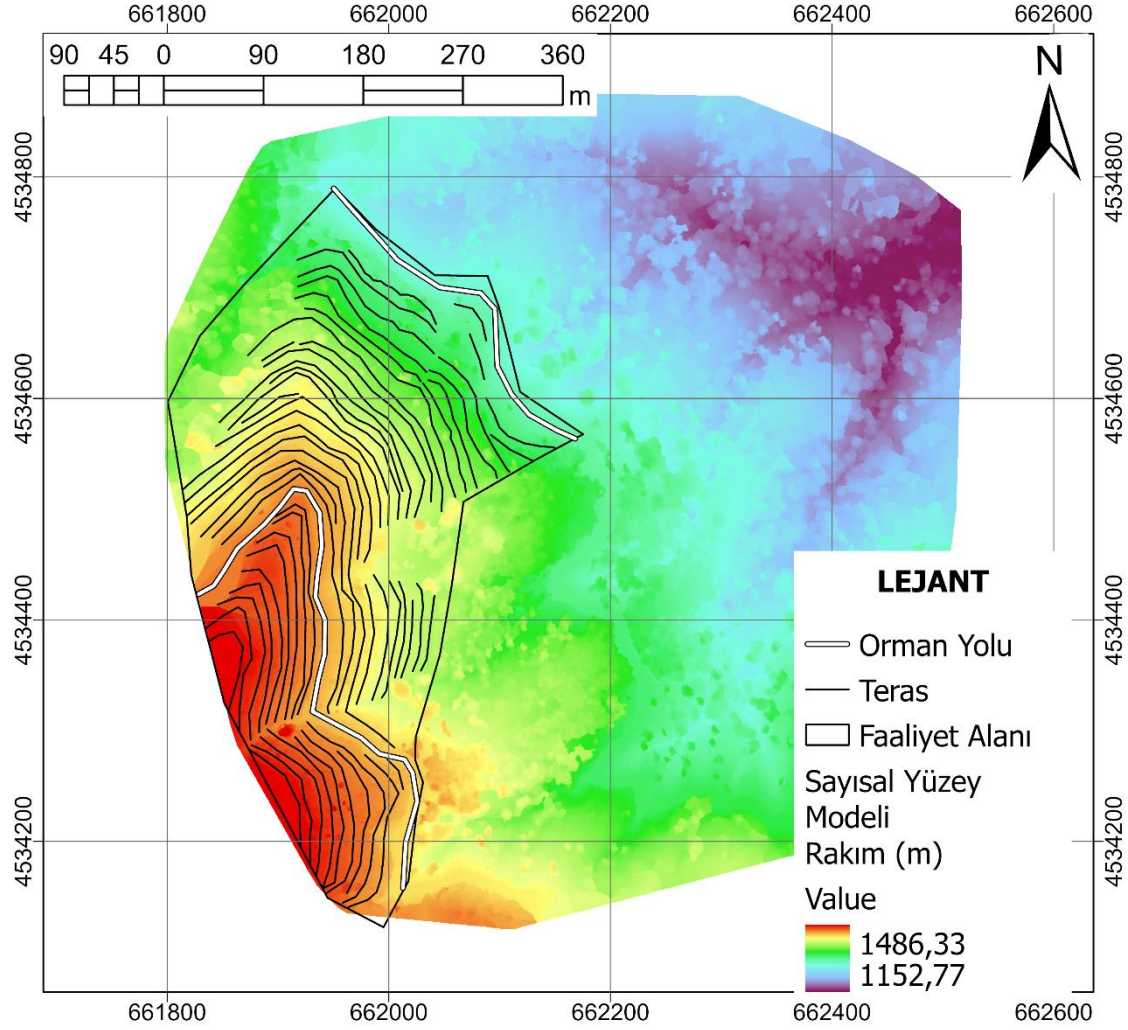
Şekil 3. 3 İkinci teras sahasından (135 no.lu bölme) alınan tekil hava fotoğraflarından bir görünüm. Orman yolunda gölgede duran operatörlere dikkat ediniz.

Gerçekleştirilen İHA uçuşları sayesinde her iki teras sahasının sayısal yüzey modelleri de (SYM) üretilmiştir (Şekil 3.4, 3.5). Bu modeller çok yüksek çözünürlüklü olup (6 cm), sahadaki boylu ağaçları da temsil etmektedir. Şekil 3.4’te görüldüğü gibi, 159 numaralı bölmede bulunan birinci sahadaki teraslar genel itibariyle eşyükselti eğrilerine paralel olarak yapılmıştır. Ancak, teras boyunca bulunan bazı boylu ağaçlar nedeniyle söz konusu ağaçlar korunarak teras kesintiye uğramıştır. Bu ağaçların tepe tacı SYM üzerinde farklı renkle görülebilmektedir.



Şekil 3. 4 159 numaralı bölmede bulunan birinci teras sahasının 6 cm çözünürlükteki sayısal yüzey modeli (SYM).

135 numaralı bölmede bulunan ikinci teras sahasındaki durum ise daha farklıdır. Orman yolunun üstündeki (kırmızı renkli) teras sıraları boyunca pek boylu ağaç bulunmamaktadır (Şekil 3.5). Ancak, sahadaki kuru dere, oyuntu, kayalık arazi gibi engeller nedeniyle bazı teraslar kesintiye uğramıştır. Ekskavatör söz konusu engellere müdahale etmemiş, engelin karşı tarafından teras yapımına devam etmiştir. Orman yolunun altındaki (sarı-yeşil renkli) kısımda ise bazı boylu ağaç grup halinde bulunmaktadır (Şekil 3.5). Bu gruplara dokunulmamış, dolayısıyla bu kısımlarda faaliyet yürütülmemiştir.



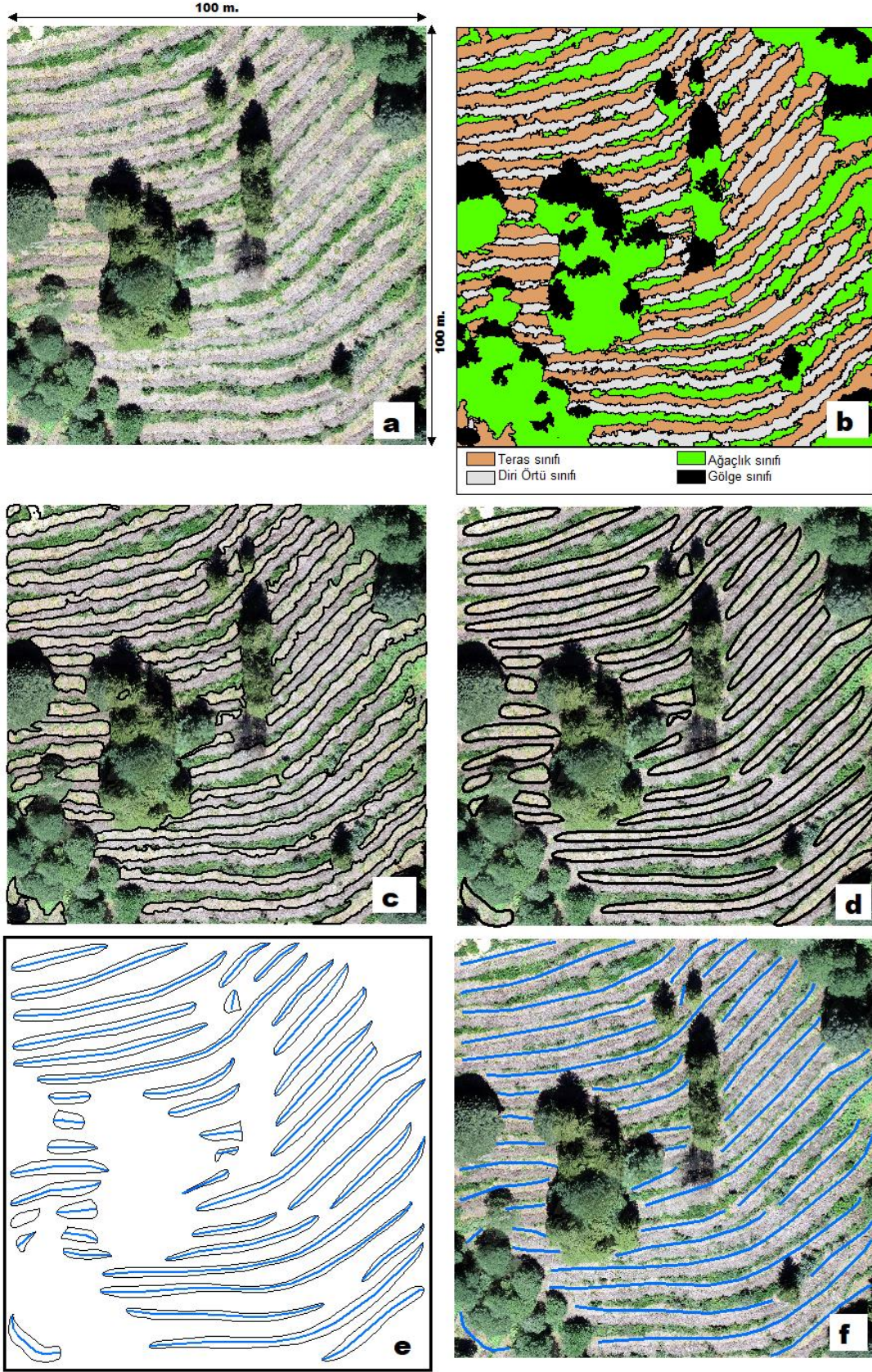
Şekil 3. 5 135 numaralı bölmede bulunan ikinci teras sahasının 6 cm çözünürlükteki sayısal yüzey modeli (SYM).

3.3 Terasların Otomatik Sınıflandırılması ve Doğruluk Değerlendirmesi

1 ha'lık deneme alanından kontrollü sınıflandırma yöntemiyle otomatik olarak çıkartılan teraslar Şekil 3.6'da toplu olarak gösterilmiştir. Buradaki Şekil 3.6a'da 100×100 m olarak kesilen original ortofoto görüntüsü yer almaktadır. Şekil 3.6b'de ise üretilen dört farklı sınıfa ait harita görülmektedir. Haritadaki yavru ağzı renkli alanlar teras şeritlerini temsil etmektedir. Yalnızca bu alanlara odaklanarak teras poligonları üretilmiş (Şekil 3.6c-d) ve bu poligonların ortasından çizgi geçirilmiştir (Şekil 3.6e). Şekil 3.6f'de görülen mavi çizgiler teras sıralarını göstermektedir. Deneme alanı içerisindeki mavi çizgilerin toplam uzunluğu 1344 m'dir. Aynı deneme alanı içerisinde manuel sayısallaştırılan terasların toplam uzunluğu ise 1702 m'dir. Aradaki fark Şekil 3.7'den de anlaşıldığı gibi teras şeritlerinde yer alan bazı büyük ağaçlardan kaynaklanmaktadır. Manuel sayısallaştırma

yapılırken CBS kullanıcısı sezgisel davranarak teras sıralarını büyük ağaçların altından ve gölgelerden de devam ettirmiştir. Ancak, görüntü sınıflandırma esnasında bu ağaçların tepe tacları ve gölgeleri ayrı bir sınıf olarak ayrılmıştır. Ağaçların altından devam ettirilen teras uzunluğu CBS’de 360 m olarak hesaplatılmıştır. Otomatik sayısallaştırılan 1344 m’lik teras uzunluğuna bu değer eklendiğinde 1704 m’ye ulaşılmıştır. Dolayısıyla, otomatik ve manuel yöntemle gerçekleştirilen sayısallaştırma sonuçları arasında 2 m’lik bir uzunluk farkı bulunmaktadır.

Şekil 3.7 incelendiğinde her iki yöntemle üretilen teras sıralarının birbirleriyle konumsal uyum içerisinde oldukları da anlaşılmıştır. Ancak, bir iki teras sırasının ucunda ve deneme alanının güneybatısındaki teras hattında küçük hatalar da gözlenmiştir. Bu hatalar, farklı görüntü işleme yöntemleri kullanılarak, CBS fonksiyonlarının parametrelerini değiştirerek veya post-processing rötüşler yaparak giderilebilir.



Şekil 3. 6 Kontrollü sınıflandırma ile otomatik olarak sayısallaştırılan teraslar. a) 1 ha büyüklüğündeki deneme alanı, b) kontrollü sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar, c) teras

sınıfına ait poligonlar, d) poligonların smooth komutuyla düzeltilmesi, e) poligonların orta hattını temsil eden çizgiler ve f) terasların otomatik çizdirilmiş hali.



Şekil 3. 7 Deneme alanı içinde manuel (sarı) ve otomatik (siyah) olarak sayısallaştırılan teraslar.

3.4 Zaman-Maliyet Analizi

Bu çalışma kapsamında haritalanan 1. ve 2. teras sahalarının büyüklüğü sırasıyla 44,51 ha ve 22,83 ha olup, toplamda 67,34 ha alan İHA ile haritanmıştır (Tablo 3.1). Uçuş gerçekleştirme ve ortofoto haritanın üretilmesi işi yaklaşık yarım gün sürmüştür. OGM'ye ait 2026 yılı birim fiyat cetvelinde (URL, 2026) 100 ha'a kadar alanların İHA ile haritalanması işinin ihaleli birim fiyatı 34.522,79 TL'dir (bkz. poz no. 2214.1).

1. ve 2. teras sahalarında harita üzerinden CBS ortamında ölçülen teras uzunlukları sırasıyla 21,40 km ve 12,19 km'dir (Tablo 3.1). Toplamda 33,59 km teras CBS ortamında sayısallaştırılarak uzunlukları hesaplanmış ve vektör tabanlı haritaları yarım günde üretilmiştir. OGM'ye ait 2026 yılı birim fiyat cetvelinde (URL, 2026) hava fotoğrafı ya da uydu görüntüsü üzerinden CBS'de teras ölçümü işinin ihaleli birim fiyatı 130,89 TL/km'dir. Dolayısıyla, 33,59 km uzunluğundaki terasların CBS'de ölçüm maliyeti 4.396,60 TL'dir. Sonuç itibariyle, bu tez çalışmasında önerilen İHA haritalama yönteminin tercih edilmesi halinde işin süresi toplamda 1 gün olmakta ve maliyet $34.522,79 + 4.396,60 = 38.919,39$ TL tutmaktadır. Bu miktar haritalanan alan büyüklüğüne bölündüğünde hektar başına maliyet $38.919,39 \div 67,34 = 577,95$ TL/ha olarak hesaplanmıştır.

Orman işletme şefinden alınan bilgiye göre, teras ölçümü işi geleneksel yöntemlerle işçi marifetiyle yapıldığında iki sahada dört işçinin üç gün boyunca çalıştırılması gerekmiştir. Çamlıhemşin bölgesinde bu iş için çalıştırılan işçi yevmiyeleri 2026 itibariyle 3.000 TL/gün'dür. Dolayısıyla, toplam yövmiye gideri; $4 \text{ işçi} \times 3.000 \text{ TL} \times 3 \text{ gün} = 36.000 \text{ TL}$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca işçilerin teras sahalarına ulaşım giderleri (şoför yövmiyesi ve akaryakıt) ve öğle yemekleri de ilave edildiğinde toplam maliyet $36.000 + 10.500 = 46.500 \text{ TL}$ olmaktadır. Bu miktar haritalanan alan büyüklüğüne bölündüğünde hektar başına maliyet $40.500 \div 67,34 = 690,53 \text{ TL/ha}$ olarak hesaplanmıştır.

3.5 Tartışma

Türkiye gibi ormanları genellikle yüksek eğimli arazilerde bulunan ülkelerde gerçekleştirilecek ağaçlandırma ve gençleştirme çalışmaları için teras yapımı oldukça önemlidir. Tekniğine uygun yapılmış bir teraslama projesi dikilecek fidanların yaşama yüzdesi, çap/boy artımı ve arazi stabilitesine önemli katkılar sağlar. Bu nedenle teras projelerinin yerinde kontrolü, teras uzunluk/eğim ölçümleri ve diğer parametrelerin tespiti hassas şekilde yapılmalıdır (Aşk ve Aydemir, 1967; Boydak ve Çalışkan, 2014). Bu tez çalışması, İHA haritalama yöntemiyle teras ölçümlerinin kolaylıkla ve etkili bir şekilde gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Kullanılan materyal ve yöntemler, Şenyuva OİŞ gibi Kaçkar Dağları'nda yer alan ülkenin en engebeli ve zor arazi koşullarında dahi haritalama ve ortofoto harita üzerinden metrik ölçüm yapabilmeye olanak sağlamıştır. Aynı zamanda bu ölçümlerin ekrandan manuel sayısallaştırma yerine, ortofoto haritada görülen terasların kontrollü sınıflandırılması suretiyle otomatik olarak nasıl

yapılabileceği de araştırılmıştır. 1 ha'lık örnek sahada denenen bu işlem özellikle yüzlerce ha büyüklüğündeki geniş teraslama sahalarının hızlı ölçümünde tercih edilebilir.

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen zaman-maliyet analizi göstermiştir ki; teras ölçümünün geleneksel ve İHA haritalama yöntemleriyle yapılması halinde maliyetler birbirine nispeten yakın çıkmakta ancak İHA haritalama yönteminin tercih edilmesi halinde işin süresi üç kat azalmaktadır. Yaklaşık 67 ha'lık teras sahasının İHA ile haritalanması ve terasların ölçümü CBS ortamında 1 günde bitirilebilmekte ve toplam maliyet 38.919,39 TL tutmaktadır (URL, 2026). Aynı iş işçiler tarafından geleneksel yöntemle yapıldığında ise 3 gün sürmekte ve toplam maliyet 46.500 TL tutmaktadır.

Ancak bu sonuçlar 67,34 ha'lık sahada 33,59 km teras uzunluğunun ölçümü için geçerlidir. Örneğin, 40 ha'lık sahada 20 km'lik teras ölçümü gerçekleştirilseydi İHA haritalama yönteminin maliyeti 37.140,59 TL'ye düşecekti yani maliyette ciddi bir düşüş yaşanmayacaktı. Aynı senaryoda geleneksel yöntemin uygulanması halinde maliyet ise 31.000 TL olacaktı. Dolayısıyla, nispeten küçük sahalarda geleneksel yöntemin İHA yöntemine göre daha ekonomik olabileceği ancak yine de işin süresinin uzayacağı değerlendirilmektedir. Bu analiz ve değerlendirmelere dayanarak yaklaşık 50 ha ve daha büyük sahalarda İHA haritalama yönteminin geleneksel yöntemle göre daha ekonomik olduğu söylenebilir. URL (2026)'daki poz no. 2214.2'ye göre 100 ha'lık saha büyüklüğü aşıldığında fazladan haritalanacak her 1 ha için 341,06 TL'lik ek ücret ödeneceği bildirilmiş olsa da, bu miktarın İHA haritalama yönteminin ekonomikliğini pek etkilemeyeceği analiz edilmiştir. Diğer yandan, 50 ha'ın altındaki sahalarda teras ölçümü yapılacaksa ve işin hızlı bitirilmesi gereği yok ise geleneksel yöntem tercih edilebilir. Ancak bu karşılaştırma yalnızca ekonomik açıdan yapılmıştır. Geleneksel yöntemlerde özellikle zorlu topoğrafik koşullarda iş güvenliği de riske atılabilmektedir. Yine teras uzunluk hesaplarının doğruluğu modern yöntemlere göre daha düşük olabilmektedir. İHA tabanlı ölçümlerde ise; yüksek doğruluklu veri elde edilmekte, sayısal veri doğrudan CBS'ye entegre edildiği için sayısal ortamda arşivlenebilmekte ve tekrar analiz edilebilmektedir.

OGM'nin birim fiyat cetvelinde İHA haritalama işinin RTK modülüne sahip İHA'lar marifetiyle gerçekleştirilmesi halinde, birim fiyatın 1,3 katsayısıyla çarpılacağı bildirilmektedir (URL, 2026). Bu çalışmada kullanılan DJI Phantom 4 modelinin RTK modülü bulunmasına rağmen birim fiyat ilgili katsayıyla çarpılmamıştır. Bunun nedeni, teras uzunluk hesabı gibi metraj ölçümlerinde RTK modülüne ihtiyaç duyulmamasıdır.

Diğer bir ifadeyle, kullanılan İHA ile üretilen harita gerçek yer koordinatlarına oturtulmasaydı bile CBS’de aynı uzunluklar ölçülebilmekte ve metraj hesabı yapılabilir. Dolayısıyla, operatörler RTK modülüne sahip olmayan İHA’lar ile de bu tez çalışmasında yapılan işlemleri kolaylıkla yapabileceklerdir.

Çalışmanın sonuçları geçmişte yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, Acar ve Ünver (2025)’in çalışmasıyla bazı benzerlik ve farklılıklar tespit edilmiştir. Araştırmacılar İHA görüntüleri üzerinden gerçekleştirdikleri teras ölçümlerini yersel ölçüm verileriyle orantılamak suretiyle bir doğruluk değerlendirmesi yaklaşımı geliştirmişlerdir. Bu yaklaşımı İHA etkinlik oranı olarak tanımlayan araştırmacıların bulguları göstermektedir ki; İHA’nın teras uzunluğunu ölçmedeki etkinlik oranı %99,5’tir. Tarımsal alanlarda gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise aynı oran %92 olarak hesaplanmıştır (Hunt vd. 2014). Bizim çalışmamızda ekrandan manuel sayısallaştırma ve kontrollü sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmış ve ilk etapta bu kadar yüksek doğruluklara ulaşamamıştır. CBS’de 1 ha’lık deneme alanında manuel sayısallaştırmayla bulunan teras uzunluğu 1702 m iken, bu uzunluk kontrollü sınıflandırma sonucunda 1344 m olarak hesaplanmıştır. Aradaki fark teras şeritlerinde yer alan bazı büyük ağaçlar ve bunların gölgeleriyle ilişkilendirilmiştir (Şekil 3.7). Manuel sayısallaştırma yapılırken CBS kullanıcısı sezgisel davranarak teras sıralarını büyük ağaçların altından da devam ettirmiştir. Ancak, görüntü sınıflandırma esnasında bu ağaçların tepe tacları ayrı bir sınıf olarak atanmıştır. Bu sınıfa ait uzunluk CBS’de 360 m olarak hesaplanmıştır. Eğer bu değer kontrollü sınıflandırma sonucuna (1344 m) eklenirse 1704 m uzunluğa ulaşılır. Bu durumda, kontrollü sınıflandırmanın (otomatik yöntem) doğruluğu artacak ve iki yöntem arasında 2 m’lik bir uzunluk farkı bulunacaktır. Literatürdeki çalışmalarla bu tez çalışmasının doğruluk değerlendirme sonuçları arasındaki farklılıklar doğal karşılanmalıdır. Çünkü, örneğin Acar ve Ünver (2025)’de kullanılan İHA’nın modeli ve uçuş parametreleri bizimkinden farklıdır. Diğer bir neden; yersel ölçümlerdeki hassasiyet seviyesi olabilir. Özellikle Doğu Karadeniz gibi yüksek eğimli arazilerde gerçekleştirilen yersel ölçümlerin bilimsel anlamdaki doğrulukları şüphelidir, hata oranları belirsizdir. Dolayısıyla, günümüzde geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilen yersel ölçüm sonuçlarını %100 doğru (referans veri) kabul ederek, bu sonuçları uzaktan algılama ölçümleriyle karşılaştırmanın sakıncalarına işaret eden birçok çalışma bulunmaktadır (Jurjevic vd. 2020; Vatandaşlar vd. 2023).

Acar ve Ünver (2025) ayrıca 317 sayılı silvikültür tebliğindeki talimatlara göre teras sahasına dikilmesi planlanan fidan sayısını da İHA ölçümlerine dayalı olarak tahmin etmişlerdir. İlgili tebliğ (OGM, 2024) fidanların hangi aralıklarla dikilmesi gerektiğini ağaç türü itibariyle belirtmektedir (Tablo 1.1). Bizim çalışmamızda böyle bir tahmin yapılmamıştır ancak teras uzunlukları belli olduğu için dikilecek fidan sayısı kolaylıkla hesaplanabilir ve sahada dikimi gerçekleştirilmiş fidan sayılarıyla karşılaştırılabilir. Bu konuya eğilecek araştırmacılar ileriki çalışmalarda ağaç türü itibariyle dikilecek fidan sayısını da İHA yöntemiyle hesaplayabilirler. İki çalışma arasında benzerlikler de bulunmaktadır. Örneğin, Acar ve Ünver (2025) teras sıraları arasındaki mesafeyi de İHA görüntüleri üzerinden ölçmüşler ve aralıkları 2 ve 10 m arasında değişen toplam 2923 m teras yapıldığını belirlemişlerdir. Araştırmacıların genel sahası 3,5 ha'dır. Diğer bir ifadeyle, teras yoğunluğu yaklaşık 0,8 km/ha'dır. Bizim çalışmamızda da teraslar arası mesafe ort. 7 m olarak bulunmuştur. Birinci ve ikinci teras sahaları için hesaplanan teras yoğunluğu sırasıyla 0,48 ve 0,53 km/ha'dır. Şenyuva OİŞ'ndeki teras projesinin hektarda yarım km teras yapmayı planladığı anlaşılmaktadır. İki çalışmadaki teras yoğunlukları arasındaki farklılık; sahanın eğimi, dikilecek ağaç türünün farklı olması ve proje maliyetiyle ilgili olabilir. Ayrıca, bizim çalışmamızdaki teras sahaları içerisinde uçurum, dere geçişi, boylu ağaç grupları, kayalık vb. sebeplerle teraslama yapılamamış kısımlar da bulunmaktadır. Dolayısıyla, teras yoğunluğu diğer çalışmaya nazaran biraz düşük çıkmış olabilir.

Çalışmada karşılaşılan zorluk ve çalışmanın sınırlılıklarını da burada belirtmek gerekir. Ormanlık araziler genellikle dağlık ve ücra yerlerde bulunduğu için İHA üzerinde bulunan GNSS (GPS) ve RTK sistemleri internete bağlanamamakta ve hatta yeterli GPS uydusunu görememektedir. Bu durum, bazı İHA sistemlerinin otomatik uçuş planlaması yapabildiğini engellemektedir. Dolayısıyla, İHA uçuşa başlamamakta ya da başlasa dahi RTK'dan veri almadığı için konumlandırma doğruluğu oldukça düşmektedir (Zeybek ve Biçici, 2020). Ülkemiz ormancılığındaki teraslama çalışmaları ve ölçümler çok yüksek hassasiyetle yapılmadığı için İHA'lardaki bu sınırlılık kabul edilebilir. Veyahut bazı araştırmacıların yaptığı gibi sahaya yer kontrol noktaları koyularak *indirect georeferencing* yapılabilir (Akgül vd. 2016).

Çalışmanın bir diğer eksikliği CBS ortamında daha ayrıntılı topografik analizlerin yapılmamış olmasıdır. Teras sıralarının eşyüksekti eğrilerine paralel uzandığı SYM haritaları üzerinde görsel olarak belli olsa da (Şekil 3.4 ve 3.5), SYM üzerinden eğim

haritası oluşturularak teras çizgilerinin (vektör) gerçekten 0 eğimini takip edip etmediği analiz edilebilir. Bu tip CBS analizlerinin ileriki araştırmalarda gerçekleştirilmesi araştırmacılara fayda sağlayacaktır. Eğim analizinin ötesinde, daha önce Şekil 1.1’de gösterilen teras derinliğinin kontrolü de CBS’de mümkün olabilir. Bu çalışmada üretilen SYM’ler 6 cm çözünürlükte olduğu için teras şeritleri boyunca enine profil alınabilir, üç boyutlu derinlik analizleri gerçekleştirilebilir. Böylelikle, terasların yeterli derinlikte ya da projede belirtilen özelliklerde olup olmadığının kontrolü sayısal ortamda hızlıca yapılmış olacaktır.



4 SONUÇ VE ÖNERİLER

Özellikle eğimli alanlarda gerçekleştirilen ağaçlandırma ve yapay gençleştirme projelerinde teraslama çalışmaları, yüzeysel akışı yavaşlatarak toprak kaybını azaltmakta, suyu depolamakta ve dolayısıyla bitki gelişimini desteklemektedir. Ancak bu projelerde tam başarının sağlanabilmesi için terasların tekniğine uygun tesis edilmesi ve hassas şekilde ölçülmesi gerekmektedir. Geleneksel tesis ve ölçüm yöntemleri, geniş ve ulaşımı zor alanlarda zaman/işgücü kaybına ve ölçüm hatalarına yol açabilmektedir. Bu durum, teraslama çalışmalarında daha hızlı, hassas ve ekonomik veri toplama yöntemlerine olan ihtiyacı artırmıştır. Son yıllarda gelişen İHA teknolojisi; yüksek çözünürlüklü veri üretimi, düşük maliyet ve hızlı uygulama kapasitesi gibi avantajlarıyla ormancılık ve ağaçlandırma çalışmalarında önemli bir alternatif haline gelmiştir. Bu çalışmanın sonuçları da İHA sistemleriyle dağlık arazi koşullarında ve heterojen yapıdaki ekosistemlerde bile teras ölçümlerinin pratik ve geleneksel yöntemle nazaran daha ekonomik şekilde gerçekleştirilebildiğini göstermiştir. OGM'nin 2026 birim fiyat cetveline ve Çamlıhemşin bölgesindeki güncel işçi yövmiyelerine göre yapılan hesaplamalarda teras ölçümünün İHA haritalama ve geleneksel yöntemle yapılmasının maliyeti sırasıyla 577,95 TL/ha ve 690,53 TL/ha'dır. Hektar başına düşen bu maliyetler teras sahasının büyüklüğüne ve ölçülen toplam teras uzunluğuna göre değişim gösterebilmektedir.

Rize ili Çamlıhemşin ilçesinde yer alan Şenyuva OİŞ'ndeki iki ayrı bölmede bulunan yapay gençleştirme (Ladin) sahalarındaki teras yoğunlukları İHA haritalama tekniği kullanılarak sırasıyla 0,48 ve 0,53 km/ha olarak hesaplanmıştır. Teras şeritlerinin genel itibarıyla eşyükselti eğrilerine paralel olduğu gözlenmiştir. Ayrıca her iki sahaya ait vektör tabanlı teras haritaları CBS ortamında hem manuel sayısallaştırma hem de otomatik sınıflandırma yöntemleriyle üretilmiş ve Bulgular kısmında sunulmuştur. Bu haritalar kullanılarak teras sıraları sayılabilir, dikilecek fidan sayısı planlanabilir ve terasların bölme içindeki konumsal dağılımı incelenebilir. İHA teknolojisinin teraslama

projeleri için kullanım olanakları ve dezavantajları yanı sıra bu tez çalışmasının eksiklikleri de Tartışma bölümünde açıkça ortaya konmuştur. Böylelikle, ileride benzer araştırma ya da uygulama yapacak kişiler nelere dikkat etmeleri gerektiğini, İHA ile haritalamanın kısıtlarını ve bu çalışma planlanırken öngörülemeyen hataları nasıl engelleyeceklerini anlayabileceklerdir.

Çalışmanın sonunda ortaya çıkan fotogrametrik ürünler, ölçüm sonuçları ve diğer değerlendirmelere dayanarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

1. Yaklaşık 50 ha'dan büyük sahalarda teras ölçümü gerçekleştirilecekse, İHA haritalama yöntemi kullanılmalıdır. Bu sayede yapılacak işin maliyeti düşmekte ve iş süresi azalmaktadır. 50 ha'dan küçük sahalarda ise işin erken bitirilmesi zorunluluğu yoksa geleneksel yöntemlerle işçi marifetiyle çalışmak İHA yöntemine göre daha ekonomik olabilir.
2. Çok geniş sahalardaki terasların ölçümü (sayısallaştırma) CBS ortamında bile zaman alıcı olabilmektedir. Dolayısıyla, özellikle 100 ha'ı aşan sahalarda CBS'de manuel sayısallaştırma yerine uygun görüntü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak terasların sayısallaştırılması ve uzunluklarının tespiti otomatize edilmelidir. Bu yaklaşım İHA haritalama yönteminin hızını daha da arttıracaktır.
3. İHA uçuşunun hangi yükseklikten yapılacağına teraslama ölçümlerinde gerekli olan hassasiyet derecesine göre piksel boyutu (konumsal çözünürlük) önceden belirlenerek karar verilmelidir. Yüksek hassasiyetli ölçüm ve üç boyutlu analiz (örn. kazı derinliği) gerektiren kapsamlı projelerde piksel boyutu 5-6 cm'den büyük olmamalıdır. Ayrıca, görüntü kalitesi ve çözünürlüğünün harita boyunca aynı kalması için, özellikle engebeli arazilerde, topografyaya göre İHA yüksekliğini ayarlayan uçuş modu seçilmelidir.
4. Büyük ağaçların ve engebeli topografyanın gölge etkisini en aza indirmek için İHA uçuşları güneş ışınlarının araziye dik açıyla geldiği öğle saatlerinde yapılmalıdır. Bu sayede özellikle otomatik görüntü sınıflandırma işlemi kolaylaşacak ve doğruluk düzeyi artacaktır.
5. İleride yapılacak çalışmalarda daha alçak irtifadan uçuşlar gerçekleştirilerek daha yüksek çözünürlüklü SYM üretilebilir. Bu durumda ayrıntılı eğim analizleri, üç boyutlu teras kesit haritalaması (kazı derinliği) ve eğimli (akıtmalı)/eğimsiz (emdirmeli) teraslarda şerit boyunca eğim hesabı yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acar, M., Ünver, S. (2025). Planning forest afforestation activities using unmanned aerial vehicles (UAVs): The case of Artvin. *Artvin Çoruh University Journal of Faculty of Forestry*, 26(2), 343-354.
- 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. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66(1), 104-118.
- Álvares, J.S., Costa, D.B., & Melo, R.R.S. (2018). Exploratory study of using unmanned aerial system imagery for construction site 3D mapping. *Constr. Innov.* 18, 301–320.
- Aşk, K., & Aydemir, H. (1967). Tokat'ta arazi onarım banketleri üzerinde bazı denemeler. Ormancılık Araştırma Enstitüsü, Teknik Bülten Seri No: 21, Ankara.
- Boydak, M., Çalışkan, S. (2014). Ağaçlandırma. CTA Basımevi, İstanbul, 714 s.
- Chen, X., Hopkins, B., Wang, H., O'Neill, L., Afghah, F., Razi, A., Fule, P., Coen, J., Rowell, E., Watts, A. (2022). Wildland fire detection and monitoring using a drone-collected RGB/IR image dataset. *IEEE Access* 10, 121301-121317
- Cromwell, C., Giampaolo, J., Hupy, J., Miller, Z., Chandrasekaran, A. (2021). A systematic review of best practices for UAS data collection in forestry-related applications. *Forests*, 12, 957.
- Dainelli, R., Toscano, P., Di Gennaro, S.F., Matese, A. (2021). Recent advances in unmanned aerial vehicle forest remote sensing-a systematic review part I: a general framework. *Forests*, 12, 327.
- De Vivo, F., Battipede, M., Johnson, E. (2021). Infra-red line camera datadriven edge detector in UAV forest fire monitoring. *Aerosp. Sci. Technol.*, 111, 106574.
- Ecke, S., Dempewolf, J., Frey, J., Schwaller, A., Endres, E., Klemmt, H.-J., Tiede, D., Seifert, T. (2022). UAV-based forest health monitoring: a systematic review. *Remote Sensing*, 14, 3205.
- 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.

- Esri (2023). ArcGIS Pro. Environmental Systems Research Institute Inc.: Redlands, Kaliforniya, ABD.
- Golizadeh, H., Hosseini, M.R., Edwards, D., Abrishami, S., Taghavi, N., Banihashemi, S. (2019). Barriers to adoption of RPAs on construction projects: a task–technology fit perspective. *Construction Innovation: Information, Process, Management*, 19 (2), 149- 169.
- Hunt, E.R., Cavigelli, M., Daughtry, C.S.T., McMurtrey, J.E., Walthall, C.L. (2014). Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 15, 597–615.
- Jurjevic, L., Liang, X., Gasparovic, M., Balenovic, I. (2020). Is field-measured tree height as reliable as believed – part II, a comparison study of tree height estimates from conventional field measurement and low-cost close-range remote sensing in a deciduous forest. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 169, 227–241.
- Koontz, M.J., Scholl, V.M., Spiers, A.I., Cattau, M.E., Adler, J., McGlinchy, J., Goulden, T., Melbourne, B.A., Balch, J.K. (2022). Democratizing macroecology: integrating unoccupied aerial systems with the National Ecological Observatory Network. *Ecosphere*, 13, e4206.
- McClelland, II, M.P., Aardt, J.v., Hale, D. (2018). Manned aircraft versus small unmanned aerial system—forestry remote sensing comparison utilizing lidar and structure-from-motion for forest carbon modeling and disturbance detection. *J. Appl. Remote Sens.*, 14(2), 022202.
- OGM (2024). Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları Tebliği. Yeni Tebliğ No: 317, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- OGM (2020). Şenyuva Orman İşletme Şefliği Ekosistem Tabanlı Fonksiyonel Orman Amenajman Planı (2020-2039). Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Peppas, M.V., Hall, J., Goodyear, J., & Mills, J.P. (2019). Photogrammetric assessment and comparison of DJI Phantom 4 pro and phantom 4 RTK small unmanned aircraft systems. *ISPRS Geospatial Week*.
- Potente, E., Cagnazzo, C., Voett, A., Deodat, A., Mastronuzzi, G. (2021). UAVUGV imagery for disaster scenario mapping: aerial-terrestrial data fusion and comparison. *Rendiconti. Online Soc. Geol. Ital.*, 55, 10–19.
- Sarabia, R., Aquino, A., Ponce, J.M., López, G., Andújar, J.M. (2020). Automated identification of crop tree crowns from uav multispectral imagery by means of morphological image analysis. *Remote Sensing*, 12, 748.
- Schiefer, F., Kattenborn, T., Frick, A., Frey, J., Schall, P., Koch, B., Schmidtlein, S. (2020). Mapping forest tree species in high resolution UAV-based RGB-imagery by means of convolutional neural networks. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 170, 205–215.
- Shakhatreh, H., Sawalmeh, A.H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Othman, N.S., Khreishah, A., Guizani, M. (2019). Unmanned aerial vehicles (UAVs): a

- survey on civil applications and key research challenges. *IEEE Access*, 7, 48572-48634.
- Talbot, B., Rahlf, J., Astrup, R. (2018). An operational UAV based approach for stand-level assessment of soil disturbance after forest harvesting. *Scand. J. Forest Res.*, 33 (4), 387-396.
- Ulukavak, M., Memduhoğlu, A., Şenol, H.İ., Polat, N. (2019). The use of UAV and photogrammetry in digital documentation. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1), 17-22.
- Ulvi, A., Yiğit, A.Y. (2020). 3D Study of modelling and animation of Kayseri Gülük Mosque. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2), 33-37.
- URL (2026). Orman Genel Müdürlüğü 2016 yılına ait birim fiyat cetveli. URL: https://webdosya.csb.gov.tr/v2/cem/2026/02/2026-Y-I-Birim-Fiyatlar-20260202160415.xlsx?fbclid=IwRI RTSAP4W29leHRuA2FlbQIxMQBzcnRjBmFwcF9pZAo2NjI4NTY4Mzc5AAEevzUiQLjlp5amN6N9rCBzXaRVX-5-5N1U7aADl3IOE3ES91JmXc9WTY-Xdo_aem_BaA4rnoI9bupasFSSNHRqQ (Erişim: 27.02.2026)
- Vatandaşlar, C., Seki, M., Zeybek, M. (2023). Assessing the potential of mobile laser scanning for stand-level forest inventories in near-natural forests. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(4), 448–464.
- Videras, Rodríguez, M., Melgar, S.G., Cordero, A.S., Márquez, J.M.A. (2021). A critical review of unmanned aerial vehicles (UAVs) use in architecture and urbanism: scientometric and bibliometric analysis. *Appl. Sci.*, 11, 9966.
- Zeybek, M., Biçici, S. (2020). Road distress measurements using UAV. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(1), 13-23.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Fatih KARAĞAÇ Tez Son Teslim Benzerlik

ORJİNALLİK RAPORU

%**4**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**3**

İNTERNET KAYNAKLARI

%**1**

YAYINLAR

%**2**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

acikbilim.yok.gov.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**

2

Submitted to Artvin Āoruh Āniversitesi

Öğrenci Ödevi

<%**1**

3

Submitted to Çankırı Karatekin University

Öğrenci Ödevi

<%**1**

4

earsiv.kastamonu.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

<%**1**

5

dergipark.org.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**

6

webdosya.csb.gov.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**

7

Submitted to Gaziosmanpasa Üniversitesi

Öğrenci Ödevi

<%**1**

8

Submitted to TechKnowledge Turkey

Öğrenci Ödevi

<%**1**

9

web.ogm.gov.tr

İnternet Kaynağı

<%**1**