

Orman Ağaçlandırma Faaliyetlerinin İnsansız Hava Aracı (İHA) Kullanılarak Planlanması: Artvin Örneği

Planning Forest Afforestation Activities Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV_s): The Case of Artvin

Mustafa ACAR^{*1} , Saliha ÜNVER² 

^{*1}Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Artvin

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Eser bilgisi /Article Info

Araştırma makalesi / Research article

DOI: 10.17474/artvinofd.1720603

*Sorumlu yazar/Corresponding author

Mustafa ACAR

e-mail: mustafa.acar@artvin.edu.tr

Geliş tarihi / Received

16.06.2025

Düzeltilme tarihi / Received in revised form

09.07.2025

Kabul tarihi / Accepted

10.07.2025

Elektronik erişim / Online available

15.10.2025

Anahtar kelimeler:

Yersel ölçümler

İHA

Doğruluk analizi

Ağaçlandırma faaliyetleri

Dağlık arazi

Keywords:

Terrestrial measurements

UAV

Accuracy analysis

Afforestation activities

Mountainous terrain

Özet

Bu çalışmada, orman ekosistemlerinde gerçekleştirilen ağaçlandırma ve bakım faaliyetlerinin planlanmasında insansız hava aracı (İHA) teknolojisinin doğruluk analizi araştırılmıştır. Artvin Orman İşletme Şefliği sınırlarında 2019 yılında ağaçlandırılmış, alanı ve ortalama eğimi sırasıyla 3.5 ha ve %60 olan ormanlık saha çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanında Meridian M6 model GPS/GNSS ile elde edilen yersel fotogrametrik veriler ile gerçekleştirilen toplam 24 adet teras üzerine 3 m aralıklarla sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) (800 adet) ve fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) (200 adet) fidanları dikilmiştir. Alanın Sayısal Arazi Modeli ve ortofoto haritasının üretimi için Nisan 2025 tarihinde DJI Mavic 3 Enterprise cihazı ile İHA görüntüleri alınmıştır. Uçuş öncesinde alanda üç adet yer kontrol noktası (YKN) yapılarak Meridian M6 marka CORS cihazı kullanılarak RTK yöntemi ile konumları belirlenmiştir. Çalışma alanında 2.02 cm yer örnekleme aralığında 9 kolon ile İHA uçuşu planlanarak 41.8 m yükseklikte %80 ön bindirme ve %70 yan bindirme oranıyla 188 görüntü elde edilmiştir. ArcGIS 10.2 ve Google Earth Pro yazılımları kullanılarak PIX4D yazılımında işlenen görüntüler üzerinde hesaplamalar yapılmıştır. Yersel ölçüm ve İHA ile elde edilen verilere göre mevcut durumdaki teras uzunlukları ve ağaç sayıları karşılaştırılarak İHA yönteminin etkinlik oranı sırasıyla %99.4 ve %98.8 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki ağaçlandırma faaliyetleri yersel olarak beş kişi ile iki günde gerçekleştirilirken İHA ile bir operatör tarafından yarım günde gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir. Bu durum ağaçlandırma faaliyetlerinin İHA verileri ile planlanmasının hem zamansal hem de ekonomik olarak önemli katkılar sunduğunu göstermiştir.

Abstract

In this study, the accuracy analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) technology was investigated in the planning of afforestation and maintenance activities carried out in forest ecosystems. A forested area with an area of 3.5 ha and an average slope of 60%, which was afforested in 2019 within the boundaries of the Artvin Forest Management Directorate, was selected as the study area. A total of 24 terraces were created in the study area using terrestrial photogrammetric data obtained with the Meridian M6 model GPS/GNSS, and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) (800 seedlings) and stone pine (*Pinus pinea* L.) (200 seedlings) were planted at 3 m intervals. For the production of the Digital Terrain Model and orthophoto map of the area, UAV images were captured using a DJI Mavic 3 Enterprise device in April 2025. Prior to the flight, three ground control points (GCPs) were established in the area, and their locations were determined using the RTK method with a Meridian M6 CORS device. An UAV flight was planned with 9 columns at a ground sampling interval of 2.02 cm, resulting in 188 images obtained at a height of 41.8 m with an 80% forward overlap and 70% side overlap. Calculations were performed on the images processed in PIX4D software using ArcGIS 10.2 and Google Earth Pro software. Based on the data obtained from ground measurements and UAVs, the current terrace lengths and tree counts were compared, and the effectiveness rate of the UAV method was determined to be 99.4% and 98.8%, respectively. While afforestation activities in the study area were carried out by five people over two days on the ground, it was determined that they could be completed by a single operator in half a day using UAVs. This demonstrates that planning afforestation activities using UAV data offers significant contributions in terms of both time and cost.

GİRİŞ

Ormanlık faaliyetleri, silvikültürel müdahalelerden orman amenajmanına, orman yolu inşaatından odun hasadına kadar hem ekolojik hem de teknik açıdan

birbirinden farklı dinamiklere sahip değişik işleri kapsar. Bu faaliyetler gerek topoğrafya ve iklim gibi çalışma alanının özellikleri gerekse de yapılan işlerin doğaları nedeniyle zor, riskli, zaman alan ve maliyetli işlerdir. Canlı bir ekosistem olan ormanlara yapılacak müdahalelerin

hem ormanın biyolojik ve teknik özellikleri hem de ekosistem elemanları arasındaki etkileşimler dikkate alınarak planlanması gereklidir. Bu nedenle tüm ormancılık faaliyetleri, etkilendikleri elemanların özellikleri ve istekleri gözetilerek yıllık planlar dahilinde gerçekleştirilir. Özellikle biyolojik açıdan ağaç türlerinin isteklerinin farklı olması nedeniyle ağaçlandırma ve sonrasında yapılacak bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilme zamanları ve müdahale tiplerinin doğru belirlenmesi önemlidir.

Ormancılıkta ağaçlandırma, ağaçsız orman arazileri ya da daha önce ormanlık olan ancak yangın, fırtına ya da ormancılık stratejileri gibi çeşitli nedenlerle ağaçsız hale gelen alanlarda ağaç yetiştirme süreci şeklinde tanımlanabilir. Ormanların sunmuş oldukları mal ve hizmetler, iklim değişimine büyük katkıları sunan orman alanlarının artırılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında 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. Ağaçlandırma faaliyetleri; planlama, arazi üzerindeki bitki örtüsünün temizlenmesi, toprağın hazırlanması, fidanların dikilmesi ve bakım yapılması aşamalarından oluşur (Ünver ve Yücesan 2024). Fidan dikimi gerçekleştirildikten sonra fidanların sağlığını korumak, optimum büyümelerini sağlamak ve karbon depolama potansiyelini en üst düzeye çıkarmak için çeşitli bakım faaliyetleri uygulanır. Bu uygulamaların başlıcaları; zayıf kalan fidanların seyreltilmesi, ot temizliği ve fidanların tutmaması nedeniyle boş kalan alanlarda uygulanacak tamamlama dikimleridir. Ağaçlandırma uygulamaları ve bakım faaliyetlerinin planlanmasında gerekli veriler büyük oranda saha çalışmasından oluşan verileri içerir. Orman yönetimi için gerekli olan bu tür veri toplama biçimi, insan gücü, ekipman, zaman ve para açısından önemli kaynaklar gerektirir. İşin maliyeti ve gerçekleşme süresinin belirlendiği planlama aşamasında ağaç türü ve alanın büyüklüğüne göre; gerekli fidan sayısı, makine tipi ve miktarı, işgücü sayısı, dikim aralık ve mesafeleri verilerine ihtiyaç duyulur. Bakım uygulamalarında ise seyreltme ve tamamlama yapılacak noktaların tespiti, müdahale edilecek alanların her birinde ihtiyaç duyulan fidan sayısı ve işgücü miktarının

belirlenmesi gerekir. Planlama ve bakım aşamaları için ihtiyaç duyulan verilerin geleneksel yöntemlerle elde edilmesi, alanın tamamı gezilerek arazi özelliklerinin değerlendirilmesi ve gerekli ölçümlerin yapılması şeklinde gerçekleştirilir. Özellikle ulaşımı zor, topografik yapısı değişken, işgücü için riskli ve geniş alanlarda gerçekleştirilecek ağaçlandırma faaliyetlerinde geleneksel yöntem maliyet ve zaman açısından çeşitli sorunlar oluşturabilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte geleneksel yöntemlerin dezavantajlarının minimize edilebilmesi amacıyla ölçümlerin havadan gerçekleştirildiği çeşitli fotogrametrik yöntemler yaygınlaşmıştır.

Fotogrametrik yöntemler uzakta olan obje ya da alanlar ile ilgili coğrafi verilerin doğru olarak elde edilmesi için geliştirilmiştir. İnsansız Hava Araçları (İHA) pek çok değişik sektörlerde yaygın kullanım alanı bulması ile ön plana çıkmıştır. İHA, içinde pilotu olmayan, sadece amaca uygun video kamera ve fotoğraf makinesi taşıyan, genellikle telefon, tablet gibi uzaktan komuta edilmek üzere görevini yapabilen bir uçak çeşidi olarak tanımlanır (Sucu 2019). İHA sistemlerinin bu derece ilgi görmesi; düşük maliyet, yüksek hız ve çözünürlük, tekrarlı uçuş kabiliyeti, hassas veri ölçümü, anlık çözüm üretme ve düşük emisyon gibi avantajlarından kaynaklanmaktadır (McClelland II ve ark. 2018, Shakhathreh ve ark. 2019, Potente ve ark. 2021, Chen ve ark. 2022). İHA sistemlerinin kullanımında karşılaşılabilen dezavantajlar ise kısa pil ömrü, GPS sinyal kaybı, iklim koşulları ve kentsel alanlarda kullanımları ile ilgili kısıtlayıcı düzenlemelerdir (Golizadeh ve ark. 2019).

Sürekli gelişen İHA sistemleri ile üretilen haritaların hassasiyetlerinin yersel ölçme tekniğine giderek yaklaşması ile İHA'lar birçok farklı disiplinde kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde, tarım (Sarabia ve ark. 2020, Videras Rodríguez ve ark. 2021, Özkan 2024), arkeoloji (Ulukavak ve ark. 2019, Ulvi ve Yiğit 2020, Kaya ve ark. 2021), arama kurtarma (Verykokou ve ark. 2018), park tabanlı fiziksel aktiviteleri planlama (Park ve Ewing 2017), yaya gözlemleri (Ma ve ark. 2016, Park ve Ewing 2018), trafik yoğunluğu ve yol inşaatı (Li ve ark. 2018, Lee ve Lee 2022, Iqbal ve ark. 2025), inşaat (Álvares ve ark. 2018), mimarlık (Ulvi ve ark. 2020), lojistik (Çalışkan

2020), madencilik (Dawei ve ark. 2020, Ren ve ark. 2020) gibi birçok alanda İHA kullanımı konusunda çalışmalar yaygınlaşmıştır.

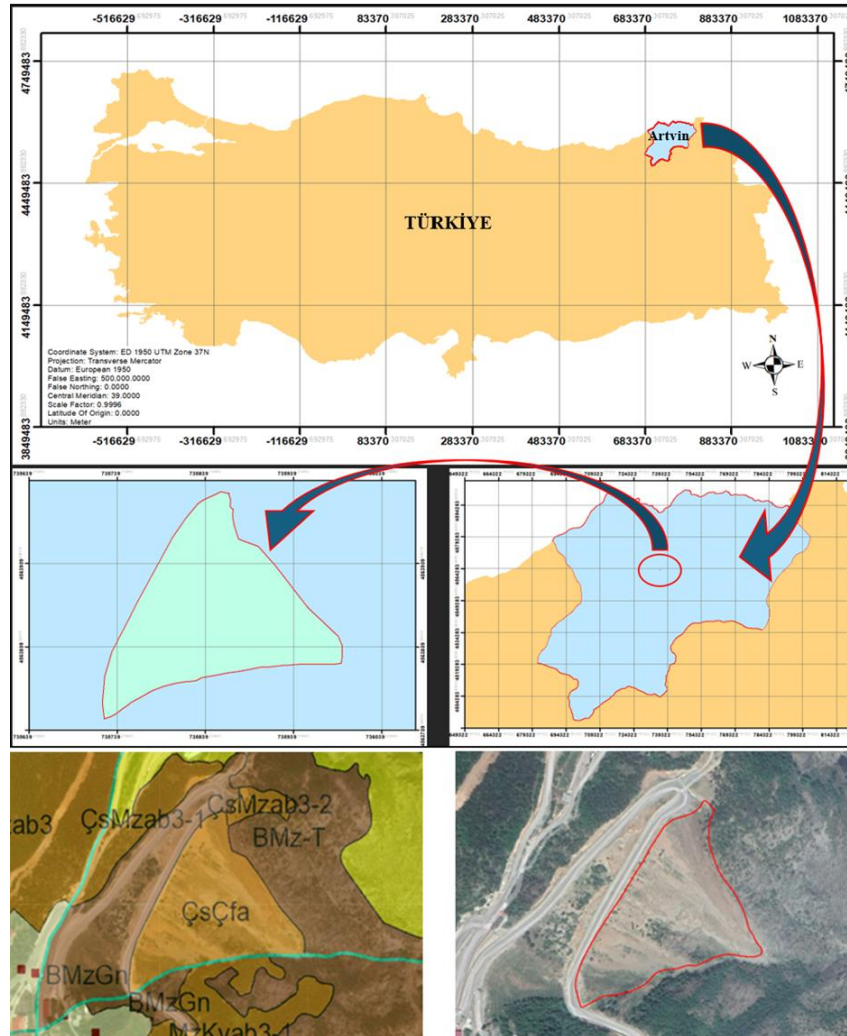
Ormancılık faaliyetlerinde tepe boşluklarının haritalanması (Schiefer ve ark. 2020), orman hasadı (Talbot ve ark. 2018), orman amenajmanı (Cromwell ve ark. 2021, Dainelli ve ark. 2021), orman sağlığı (Ecke ve ark. 2022), yaban hayatı (Olsoy ve ark. 2018, Tomljanović ve ark. 2018, Krause ve ark. 2021), orman ekolojisi (Koontz ve ark. 2022), orman yangınları (De Vivo ve ark. 2021), heyelan (Eker ve ark. 2018), afet sonrası hasat faaliyetleri (Mokroš ve ark. 2017), orman yolları (Kim ve ark. 2022, Hasegawa ve ark. 2023, Türk ve Canyurt 2024), orman zararlılarının yayılımı ve ormana etkileri (Iost Filho ve ark. 2020, Martel ve ark. 2021) gibi değişik amaçlarla İHA kullanılan çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak ormancılıkta ağaçlandırma faaliyetlerinin uygulanması ya da sonrasında yapılacak bakım faaliyetlerinin

planlanmasında ihtiyaç duyulan; mevcut ağaç sayısı, planlanacak teras uzunluğu, dikilecek fidan sayısı, tamamlama dikimleri için ihtiyaç duyulan fidan sayısı gibi verilerin İHA ile temini konusunda kapsamlı çalışmalar bulunmamaktadır. Bu çalışmada ormanlık alanlarda gerçekleştirilen ağaçlandırma uygulamaları ve sonrasındaki bakım uygulamalarının planlanması için İHA görüntüleri ile elde edilen verilerin doğruluk analizinin yapılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma Alanı

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzey doğusundaki Artvin Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde yer alan ve 2019 yılında ağaçlandırılmış ormanlık sahalardan seçilmiştir (Şekil 1, Çizelge 1).



Şekil 1. Araştırma alanının genel görünümü

Çizelge 1. Çalışma alanının genel özellikleri

Koordinat	41.191542° enlem - 41.812203° boylam
Meşcere tipi	ÇsÇfa
Alan (ha)	3.5
Yükseklik (m)	509
Ortalama eğim (%)	60
Diri örtü	Yok

Artvin Orman İşletme Şefliği Yenimahalle mevkiinde ana yolun dolduru şevinde yer alan çalışma alanı, IUFRO sınıflamasına göre çok dik arazi sınıfında olup yüksek kayma riskine sahiptir. Çalışma alanında heyelan oluşumunun önlenmesi amaçlı olarak daha önce herhangi bir önlem alınmamıştır. Bu özellikte bir alanda toprak kayma riskinin azaltılması için yapılacak ağaçlandırma faaliyetleri ve sonrasındaki bakım çalışmalarının doğru olarak planlanması hem yolun hem de arazinin zarara uğramasının önüne geçilmesi açısından önemlidir.

Materyal

Çalışma alanında yapılan yersel ölçümler Meridian M6 model bir GPS/GNSS ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal Arazi Modeli ve ortofoto harita üretimi için kullanılan İHA görüntüleri Nisan 2025 tarihinde DJI Mavic 3 Enterprise cihazı ile elde edilmiştir (Şekil 2).



(a)



(b)

Şekil 2. Meridian M6 GPS/GNSS (a) ve DJI Mavic 3 Enterprise insansız hava aracı (b)

Görüntülerin alındığı DJI Mavic 3 Enterprise cihazının pil ve pervaneler dâhil ağırlığı, maksimum irtifası ve maksimum uçuş süresi sırasıyla 915 gr, 6000 m ve 45 dakikadır. Cihazdaki sabitlenmiş kamerada; 48 MP, 162 mm odak uzaklığı, 56 x hibrit yakınlaşma, 4/3 CMOS algılayıcı, mekanik deklanşör yer almaktadır ve uydu konumlama sistemi olarak GPS/GLONASS mevcuttur. Arazi çalışmalarındaki ölçümler, cihaza takılı olan ve cihazın modeline uyumlu RTK modülü ile gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 24±2 gr ağırlığındaki Real Time Kinematik (RTK) modülü, yatayda 1 cm+1 ppm ve düşeyde 1.5+1 ppm cm doğrulukta alım yapabilmektedir. İHA uçuşlarından elde edilen görüntülerin işlenmesi ve değerlendirilmesinde ArcGIS 10.2, Google Earth Pro ve PIX4D yazılımlarından yararlanılmıştır.

Yersel Ölçümler

Ağaçlandırma sahasında mevcut durumdaki teras uzunlukları ve fidan sayılarını belirlemek amacı ile alanın tamamı gezilmiştir. Çelik şerit metre kullanılarak teras uzunlukları belirlenmiş ve teraslar üzerindeki fidan sayıları not edilmiştir. Yapılan bu ölçümler İHA etkinliğinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Yer Kontrol Noktalarının Yerleştirilmesi

Uçuş öncesinde İHA ile veri alımının kolaylaştırılması ve görüntülerin dengelenmesinde kullanmak için çalışma alanına homojen olarak dağılmış 3 adet YKN konumlandırılmıştır. Bu noktalar, arazinin kritik noktalarına ve zemin ile zıt renkte olacak şekilde (kırmızı-beyaz) işaretlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Yer kontrol noktalarının görünümü

YKN'lerin konumları (X, Y ve Z) Meridian M6 marka CORS cihazı kullanılarak klasik RTK yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2).

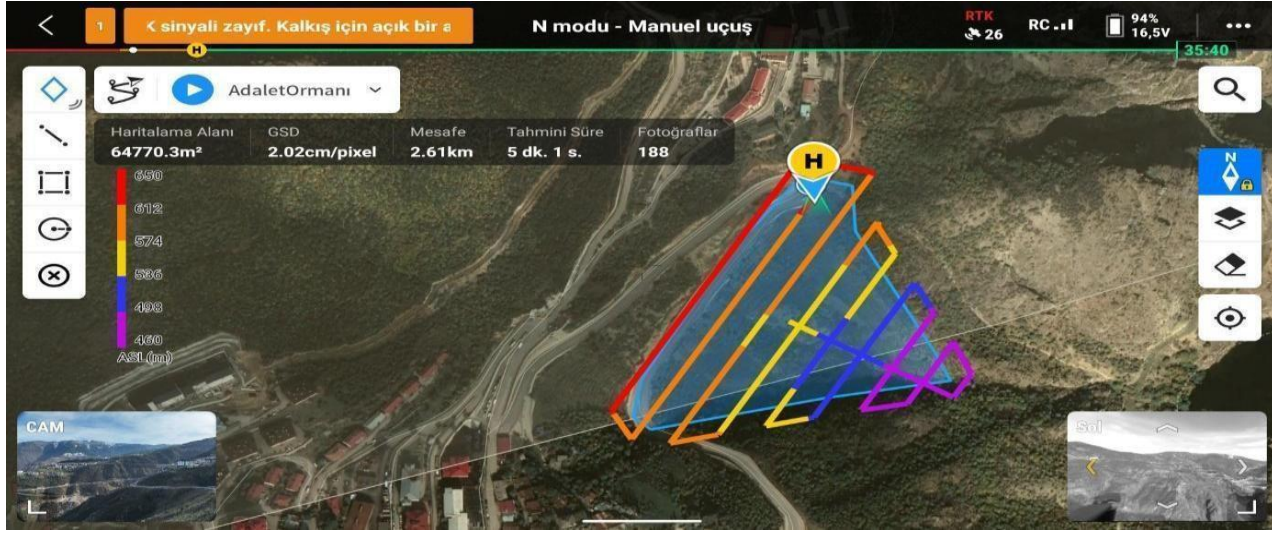
Çizelge 2. Yer kontrol noktalarının koordinatları

Nokta No	X	Y	Z
P.1	735718.294	4563755.497	540.0
P.2	735785.269	4563908.816	540.0
P.3	735865.152	4564018.180	552.0

Uçuş Planı ve Görüntü Alımı

Çalışma alanında YKN'lerin tesis edilmesinden sonra DJI Mavic 3 Enterprise marka İHA istenilen görüntü

çözünürlüğü ve bindirme oranına göre ayarlanmıştır. Çalışma alanının topografyasına göre ağaçlandırma sahası için planlanan uçuş, 2.02 cm/pixel yer örnekleme aralığında 9 kolon ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4, Çizelge 3).



Şekil 4. Çalışma alanında uygulanan İHA uçuş planı

Çizelge 3. İHA Uçuş Özellikleri

Uçuş no	Uçuş alanı (ha)	Mesafe (km)	Uçuş süresi (dk)	Uçuş yükseklik (m)	Bindirme oranı (%)	Fotoğraf sayısı	Kolon sayısı
1	3.57	2.61	5.1	41.8	75	188	9

Görüntü İşleme

Çalışma alanında ilk tesis edilen terasların uzunlukları, Google Earth Pro açık kaynak veri programından elde edilen tesis edildikleri 2019 yılına ait uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için çalışma alanına ait

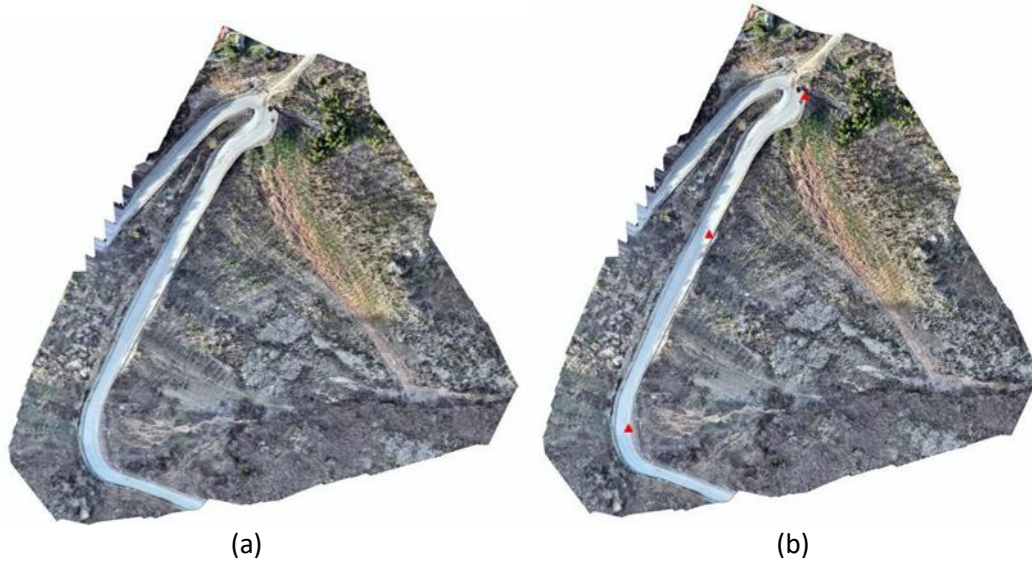
amenajman planlarının veri dosyalarından elde edilen ağaçlandırma sahasının sınırları ArcGIS 10.2 programı ile .KML uzantılı hale getirilmiş ve Google Earth üzerinde koşturulmuştur. Böylelikle elde edilen 16.11.2019 tarihli uydu görüntüsünde çizgi katmanı oluşturularak tesis edilen terasların uzunlukları ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Teraslama uygulamaları uydu görüntüsü (16.11.2019)

Ağaçlandırma alanında günümüzdeki mevcut teras uzunlukları DJI Mavic 3 Enterprise marka İHA kullanarak elde edilen görüntülerden yararlanılarak belirlenmiştir. Çalışma alanı üzerinde yapılan İHA uçuşunda; %75 bindirme oranı ile çekilen yüksek çözünürlüklü fotoğraflar, PIX4D programına yüklenerek birleştirilmiş,

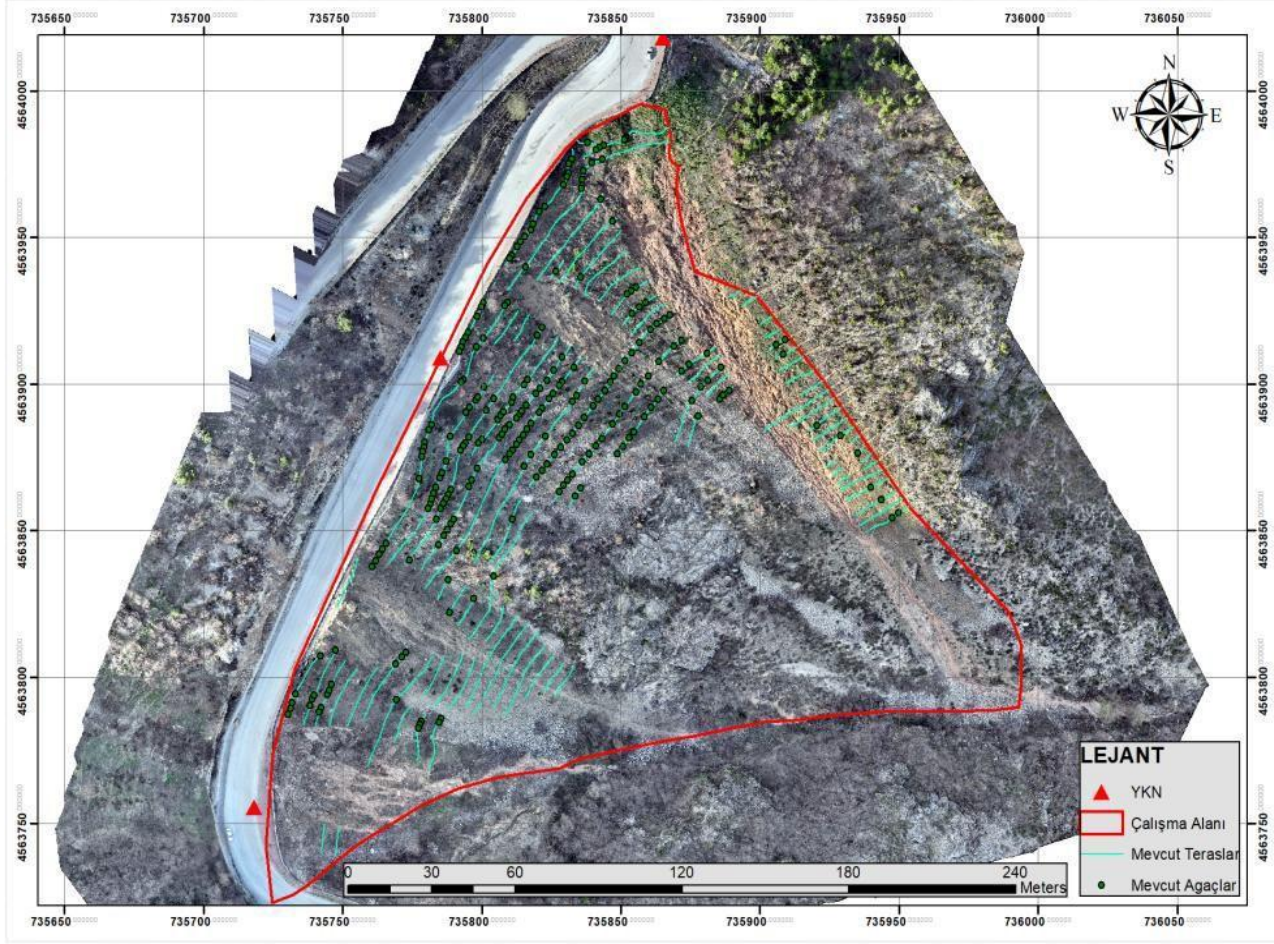
.TIFF uzantılı dosyası ve ortofoto haritası elde edilmiştir. İHA görüntülerinde oluşabilecek olası kaymaları ortadan kaldırmak için uçuş öncesinde oluşturulan 3 YKN noktasının koordinatları işaretlenerek gerekli düzeltmeler yapılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanının ortofoto haritası (a) ve yer kontrol noktaları (b)

Sonrasında elde edilen .TIFF dosyası ArcGIS 10.2 programında koşturulmuş, yersel ölçüm ve gözlemler ile kıyaslanmıştır. Belirlenen terasların uzunlukları çizgi

katmanı olarak ve fidan sayıları nokta katmanı olarak veri setine eklenmiştir. Ağaçlandırma alanındaki güncel teras uzunlukları ve fidan sayıları belirlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. 2025 Yılındaki mevcut teraslar ve fidanlar

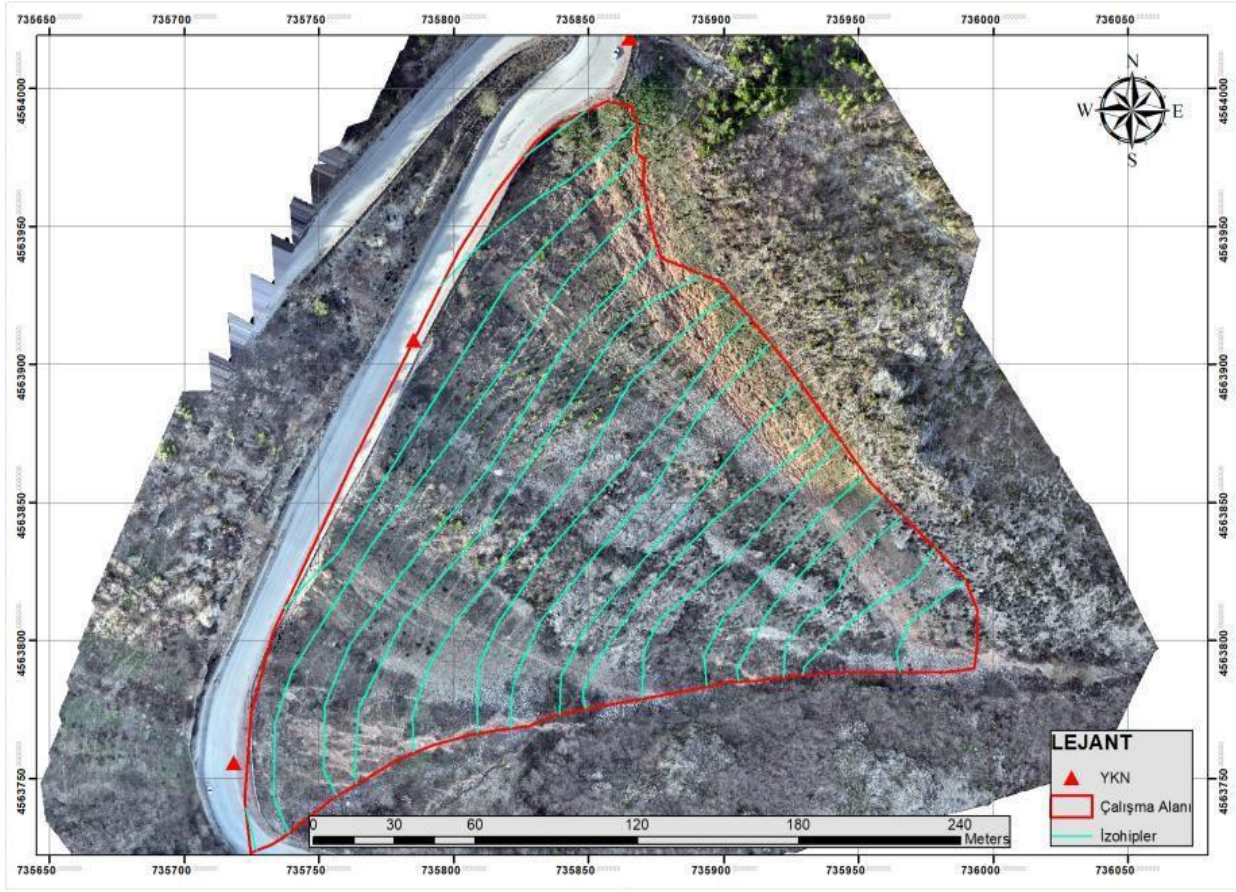
Ağaçlandırılan alanda yersel ölçümler ile elde edilen veriler ile İHA görüntülerinden elde edilen veriler karşılaştırılarak Eşitlik (1) ile İHA etkinlik oranı hesaplanmıştır.

$$\text{Etkinlik oranı} = \frac{\text{İHA görüntü verileri}}{\text{Yersel ölçüm verileri}} * 100 \quad (1)$$

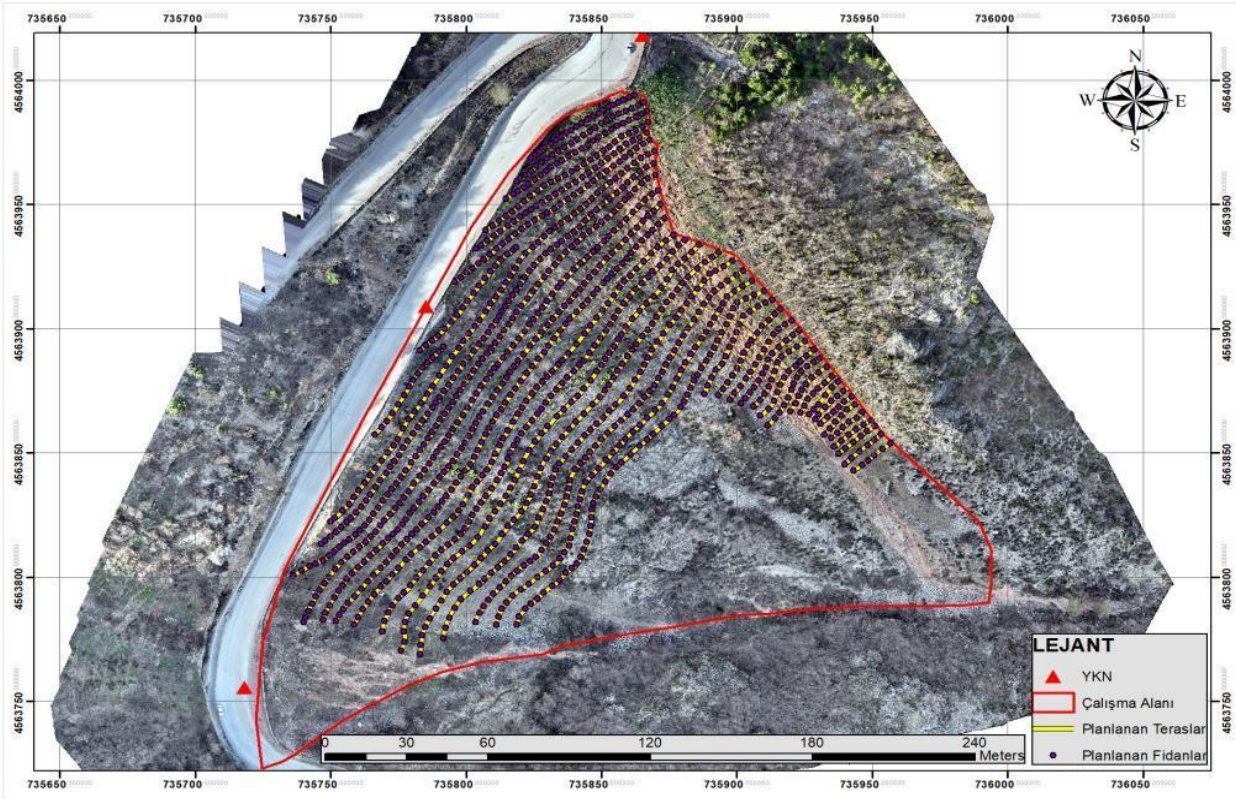
Çalışma alanındaki ağaçlandırma çalışmalarının İHA görüntüleri ile planlanması amacıyla ilk olarak işletme şefliğinin amenajman planına ait veri tabanından tüm şefliğin eşyüksekti eğrili haritası alınmıştır. Daha sonra ArcGIS ortamında "intersect" fonksiyonu kullanılarak

çalışmaya konu olan ağaçlandırma sahasına ait parçası kesilmiştir (Şekil 8).

İHA görüntülerinden yararlanarak ağaçlandırma faaliyetlerinin planlanması, Şekil 8'de verilen haritadaki eşyüksekti eğrileri referans alınarak 298 Sayılı "Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları Tebliği"nde (OGM 2014) sarıçam ve fıstık çamı için uygun görülen teras ve fidan aralık- mesafeleri baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için Nisan 2025'te elde edilen İHA görüntüsü üzerinde alanda yersel gözlemlerle teras geçirilmeyecek yerler de dikkate alınarak teras katmanı oluşturulmuş ve terasların uzunlukları eş yüksekti eğrilerine paralel olacak şekilde 4-5 m aralıklı olarak belirlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. Çalışma alanındaki eşyükseiti eğrili haritası ve YKN'ları



Şekil 9. İHA verileri ile planlanan teraslar ve fidanlar

BULGULAR VE TARTIŞMA

Ağaçlandırılmış sahanın tesis edildiği 2019 yılındaki durumunun ortaya konulması, o yıla ait uydu görüntüleri üzerinde yapılan değerlendirmeler ve ağaçlandırma faaliyeti için hazırlanmış proje dosyalarından yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Günümüzdeki (2025 yılındaki) mevcut durum arazide yapılan yersel ölçümler ve çalışma kapsamında çekilen İHA görüntüleri ile değerlendirilmiştir. Fotogrametrik ölçümler ise Nisan 2025 tarihinde çalışma alanında işaretlenen 3 adet YKN

baz alınarak 41.8 m yükseklikten gerçekleştirilen İHA uçuşundan elde edilen 188 adet fotoğraf üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanındaki ağaçlandırma projesinin ilk tesis edildiği 2019 yılındaki ve 2025 yılındaki mevcut teras uzunluk ve fidan sayıları belirlenmiştir. Mevcut duruma ait veriler hem yersel ölçüm hem de İHA görüntülerinden ayrı ayrı elde edilmiş ve bu veriler kullanılarak Eşitlik (1) ile İHA etkinlik oranı hesaplanmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 4. İlk tesis edildiğinde, mevcutta ve İHA planlamasındaki teras ve fidan durumları

Parametreler	İlk Tesis (2019 yılı)	Mevcut Durum (2025 yılı)		İHA etkinlik Oranı (%)
		Yersel ölçüm verileri	İHA	
Teras uzunluğu (m)	2923	3212	3196	99.5
Fidan sayısı (adet)	1000	247	244	98.8

Çizelge 4'te görüldüğü üzere uydu görüntüleri üzerinde yapılan incelemelerde ağaçlandırma sahasında yapılan ilk uygulamalarda, aralıkları 2 ila 10 m arasında değişiklik gösteren toplam 2923 m uzunluğunda teras yapıldığı belirlenmiştir. Ağaçlandırılan saha için hazırlanmış Artvin Orman İşletme Şefliği proje dosyasında, sahaya ilk olarak 800 adedi sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve 200 adedi fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) olmak üzere toplam 1000 adet ibrelili ağaç fidanının dikildiği belirlenmiştir (OGM 2019). Çalışma kapsamında ağaçlandırma sahasının 2025 yılındaki güncel durumu, alanın tamamı gezilerek alınan yersel ölçümler ve İHA görüntüleri ile belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde kurulumundan beri geçen 6 senede 257 m yeni teras inşa edilerek teras uzunluğunun 2923 m'den 3212 m'ye çıktığı belirlenmiştir. Bakım çalışmalarında genel olarak tesis edildiğinde yapılmamış olan alanlara yeni terasların inşa edildiği görülmüştür. Ayrıca ağaçlandırma sahasında yıllar içerisinde değişik nedenlerle oluşan toprak kaymaları sonucunda ilk yıl tesis edilen terasların bir kısmının koptuğu görülmektedir. Alanda dikilen bin adet ibrelili fidanın büyük bölümü toprak kaymaları ve buna bağlı teraslarda oluşan kopmalar nedeniyle akıp gittiği, az bir bölümünün de kuruduğu gözlemlenmiştir. Son yapılan değerlendirmelerde 2025 yılında alanda dikilen fidanlardan sadece 247 adedinin kaldığı tespit edilmiştir. Nex ve Remondino (2014) RTK gibi gelişmiş GNSS sistemlerine sahip İHA'ların

fotogrametrik algoritmalarla birleştirilmesi sayesinde milimetre ile santimetre arasında değişen bir konum doğruluğuna ulaşılabildiğini tespit etmişlerdir. Mevcut durum için yapılan yersel ve İHA görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak teras uzunluğu ve fidan sayıları için İHA etkinlik oranları sırasıyla %99.5 ve %98.8 olarak hesaplanmıştır. Bu oranlar ağaçlandırma faaliyetlerinin İHA verileri kullanılarak planlanmasının yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Tarım sektöründe ürün biyokütlesinin hesaplanması amacıyla yapılan bir çalışmada İHA kullanılarak yapılan verim analizi %92 doğruluk oranıyla belirlenmiştir (Hunt ve ark. 2014). İHA görüntüleri değerlendirilerek yapılan planlamada ağaçlandırma sahasında 3751 m teras yapılması ve 1181 adet fidan dikilmesinin uygun olacağı planlanmıştır.

Çalışma kapsamında İHA uçuşu için yapılan arazi çalışmaları; 3 YKN'nin işaretlenmesinde yaklaşık 1.0 saat ve İHA uçuşu ile 188 görüntünün alınmasında 0.09 saat olmak üzere toplam 1.09 saatte gerçekleştirilmiştir. Elde edilen İHA görüntülerinin bilgisayar ortamında değerlendirilerek istenilen verilere ulaşılması, yaklaşık 4.0 saatte gerçekleşirken İHA verilerinden yararlanarak ağaçlandırma faaliyetinin planlanması 5.09 saatte gerçekleştirilmiştir. Ağaçlandırma faaliyetinin İHA teknolojisi ile planlanması İHA kullanma sertifikasına sahip 1 değerlendirmeci ile yaklaşık 1 saatte

gerçekleştirilmişken, yersel değerlendirme ve ölçümlerle 4 kişi ile ortalama 2 günde gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Benzer olarak Zhang ve Kovacs (2012)'de açık arazide tarımsal faaliyetlerin arazi kontrollerinin geleneksel yöntemlerle 3 ila 5 günde belirlenirken İHA'larla birkaç saatte yapılabildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca Hunt ve ark. (2014) tarım sahalarında gerçekleştirilen ölçümlerde İHA teknolojisinin yersel gözlemlere göre %85 daha hızlı gerçekleştirdiğini ortaya koymuşlardır.

İHA yöntemi maliyet bakımından değerlendirildiğinde kullanılan DJI Mavic 3 Enterprise İHA'nın satın alım bedeli 4850 \$, YKN'lerin ölçümünde kullanılan Meridian M6 GPS/GNSS aletinin maliyeti 1900 \$ olmak üzere toplam 6750 \$'dır. Ancak satın alınarak demirbaş olacak İHA ve Meridian M6 cihazının uzun seneler çeşitli işlerde kullanılacağı dikkate alınarak kısa sürede kendilerini amorti edecekleri dikkate alınmalıdır. DJI Mavic 3 Enterprise ve Meridian M6 GPS/GNSS cihazının var olduğu durumlarda bu yöntemin maliyeti yoktur. Şöyle ki günümüzde İHA ile gerçekleştirilen ormancılık işleri İHA pilot eğitimi aldırılan Orman Genel Müdürlüğü personeline ya da özel firmalara ihale ile yaptırılmaktadır. Bu durum İHA operatörleri için ekstra bir ödeme yapılması gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Yersel ölçümlerle ağaçlandırma faaliyetlerinin planlanmasının maliyeti; iki gün çalışacak dört işçi ve teknikerin gündelikleri 375 \$, kullanılacak lazermetre, klizimetre gibi el aletleri 1030 \$ olmak üzere toplam 1405 \$'dır. Maliyet bakımından İHA kullanımı, özellikle uzun vadede farkını ortaya koymaktadır.

Yersel ölçümler ve İHA temelli yöntemin karayolu projelendirmesi bakımından karşılaştırılmasında, İHA kullanımının arazinin yapısına (düz, dağlık, dalgalı) göre %30-40 arasında daha ekonomik olduğu görülmüştür (Tercan 2017).

SONUÇLAR

Orman ağaçlandırma faaliyetlerinin yersel ölçümlerle planlanması oldukça riskli, maliyetli, zaman alan ve hassasiyet gerektiren faaliyetlerdir. Bu faaliyetlerin hassas olarak planlanması, ağaçlandırma sırasında yapılacak teras sayısı ve uzunluğu ile dikim aralıklarına göre fidan sayılarının doğru belirlenmesi açısından

önemlidir. Ağaç türlerine göre fidanların dikim zamanlarının ve işin tamamlanma sürelerinin farklılık göstermesi, istenilen zamanda gerekli sayıda fidanların temini için elzemdir. Ayrıca teras inşaatları sırasında ihtiyaç duyulacak iş makinelerinin temini ve fidan dikiminin başlama zamanına kadar tamamlanmasının sağlanması açısından önemlidir.

Çalışma kapsamında ağaçlandırma faaliyetlerinin günümüzde yüksek doğruluk oranında hesaplamalar yapabilen İHA teknolojisi ile çok yüksek bir doğruluk oranıyla gerçekleştirilebildiği belirlenmiştir. Ayrıca İHA teknolojisi ile ağaçlandırma faaliyetlerinin planlanması ile orman işletmelerine ekonomik, verimlilik ve güvenlik açısından önemli faydalar sağladığı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında geleneksel teknikler kullanılarak 5 kişi ile 2 gün sürede gerçekleştirilen planlama, İHA teknolojisi kullanılarak 1 kişi ile sadece 5 saatte gerçekleştirilebilmektedir. İHA kullanımının arazi temelli çalışmalarda kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada İHA görüntülerinin alınmasında sağladığı desteklerden dolayı Harita ve Kadastro Yüksek Mühendisi Temel Tahir TURGUT'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Álvares JS, Costa DB, Melo RRS (2018) Exploratory study of using unmanned aerial system imagery for construction site 3D mapping. *Constr. Innov.* 18: 301–320. <https://doi.org/10.1108/Ci-05-2017-0049>
- 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. <https://doi.org/10.3390/f12070957>
- Çalışkan TB (2020) Professional perceptions of using unmanned aerial vehicles (UAV) in logistics sector: a research on some vocational groups and drone pilots. Master Thesis Akdeniz University, Antalya.
- Dainelli R, Toscano P, Di Gennaro SF, Matese A (2021) Recent advances in unmanned aerial vehicle forest remote sensing-a systematic review part I: a general framework. *Forests*, 12: 327. <https://doi.org/10.3390/f12030327>
- Dawei Z, Lizhuang Q, Demin Z, Baohui Z, Lianglin G (2020) Unmanned aerial vehicle (UaV) photogrammetry technology for dynamic mining subsidence monitoring and parameter inversion: a case study in China. *IEEE Access*, 8, 16372-16386.

- De Vivo F, Battipede M, Johnson E (2021) Infra-red line camera data-driven edge detector in UAV forest fire monitoring. *Aerosp Sci Technol*, 111: 106574. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.106574>
- 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 Sens*, 14:3205. <https://doi.org/10.3390/rs14133205>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6402-8>
- Golizadeh H, Hosseini MR, 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. <https://doi.org/10.1108/CI-09-2018-0074>
- Hasegawa H, Sujaswara AA, Kanemoto T, Tsubota K (2023) Possibilities of using UAV for estimating earthwork volumes during process of repairing a small-scale forest road, case study from Kyoto prefecture, Japan. *Forests*, 14 (4):677. <https://doi.org/10.3390/f14040677>
- Hunt ER, Cavigelli M, Daughtry CST, McMurtrey JE, Walthall CL (2014) Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*, 15: 597–615. <https://doi.org/10.1007/s11119-014-9363-3>
- Iqbal Filho FH, Heldens WB, Kong Z, de Lange ES (2020) Drones: innovative technology for use in precision pest management. *J Econ Entomol*, 113 (1):1–25. <https://doi.org/10.1093/jee/toz268>
- Iqbal MH, Iqbal MJ, Saleem T (2025) Road layer detection and volume calculation using UAV technologies and artificial intelligence. *Eng. Res. Express*, 7: 015111. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/adaca9>
- Kaya Y, Polat N, Şenol Hİ, Memduhoğlu A, Ulukavak M (2021) Using terrestrial and UAV photogrammetry in documentation of archaeological artifact. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1):9-14. <https://doi.org/10.53030/tufod.899089>
- Kim YH, Shin SS, Lee HK, Park ES (2022) Field applicability of earthwork volume calculations using unmanned aerial vehicle. *Sustainability*, 14: 9331. <https://doi.org/10.3390/su14159331>
- Koontz MJ, Scholl VM, Spiers AI, Cattau ME, Adler J, McGlinchy J, Goulden T, Melbourne BA, Balch JK (2022) Democratizing macroecology: integrating unoccupied aerial systems with the National Ecological Observatory Network. *Ecosphere*, 13: e4206. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4206>
- Krause DJ, Hinkle JT, Goebel ME, Perryman WL (2021) Drones minimize antarctic predator responses relative to ground survey methods: an appeal for context in policy advice. *Frontiers in Marine Science*, 8: 152. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.648772>
- Lee K, Lee WH (2022) Earth work volume calculation, 3D model generation and comparative evaluation using vertical and high oblique images acquired by unmanned aerial vehicles. *Aerospace*, 9: 606. <https://doi.org/10.3390/aerospace9100606>
- Li M, Zhen L, Wang S, Lv W, Qu X (2018) Unmanned aerial vehicle scheduling problem for traffic monitoring. *Comput. Ind. Eng*, 122: 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.039>
- Ma Y, Wu X, Yu G, Xu Y, Wang Y (2016) Pedestrian detection and tracking from low-resolution unmanned aerial vehicle thermal imagery. *Sensors*, 16(4):446. <https://doi.org/10.3390/s16040446>
- Martel V, Johns RC, Jochems-Tanguay L, Jean F, Maltais A, Trudeau S, St-Onge M, Cormier D, Smith SM, Boisclair J (2021) The use of UAS to release the egg *Parasitoid Trichogramma* spp. (Hymenoptera: trichogrammatidae) against an agricultural and a forest pest in Canada. *J Econom Entomol*, 114 (5):1867–1881. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa325>
- McClelland II MP, Hale DS, Aardt J Van (2018) A comparison of manned and unmanned aerial Lidar systems in the context of sustainable forest management. *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III*. Presented at the Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III, International Society for Optics and Photonics, p. 106640S.
- Mokroš M, Výboštok J, Merganič J, Hollaus M, Barton I, Koreň M, Tomašík J, Čerňava J (2017) Early stage forest windthrow estimation based on unmanned aircraft system imagery. *Forests*, 8 (9):306. <https://doi.org/10.3390/f8090306>
- Nex F, Remondino F (2014) UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, 6(1): 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- OGM (2014) Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları Tebliği. Tebliğ No: 298, Ankara, Türkiye.
- OGM (2019) İş Planı Dosyası. Artvin Orman İşletme Şefliği, Artvin, Türkiye.
- Olsoy PJ, Shipley LA, Rachlow JL, Forbey JS, Glenn NF, Burgess MA, Thornton DH (2018) Unmanned aerial systems measure structural habitat features for wildlife across multiple scales. *Methods Ecol Evol*, 9 (3):594–604. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12919>
- Özkan M (2024) Spectral index-based crop analyses. Masters's Thesis, Harran University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Şanlıurfa.
- Park K, Ewing R (2017) The usability of unmanned aerial vehicles (UAVs) for measuring park- based physical activity. *Landscape and Urban Planning*, 167: 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.06.010>
- Park K, Ewing R (2018) The usability of unmanned aerial vehicles (UAVS) for pedestrian observation. *J. Plan. Educ. Res*, 42: 206–217. <https://doi.org/10.1177/0739456X18805154>
- Potente E, Cagnazzo C, Voett A, Deodat A, Mastronuzzi G (2021) UAV-UGV imagery for disaster scenario mapping: aerial-terrestrial data fusion and comparison. *Rendiconti Online Soc Geol Ital*, 55:10–19. <https://doi.org/10.3301/ROL.2021.10>
- Ren H, Xiao W, Zhao Y, Hu Z (2020) Land damage assessment using maize above ground biomass estimated from unmanned aerial vehicle in high ground water level regions affected by underground coal mining. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (17):21666-21679. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08695-3>
- Sarabia R, Aquino A, Ponce JM, López G, Andújar JM (2020) Automated identification of crop tree crowns from uav multispectral imagery by means of morphological image analysis. *Remote Sens*. 12:748. <https://doi.org/10.3390/rs12050748>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.10.015>
- Shakhatreh H, Sawalmeh AH, Al-Fuqaha A, Dou Z, Almaita E, Khalil I, Othman NS, Khreishah A, Guizani M (2019) Unmanned aerial vehicles (UAVs): a survey on civil applications and key research challenges. *IEEE Access*, 7, 48572-48634. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>
- Sucu MS (2019) Unmanned aerial vehicle (UAV) data documentation of cultural heritage availability: one thousand churches. Master's Thesis, Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- 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. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1418421>

- Tercan E (2017) Karayolu projelerinde insansız hava aracı ile üretilen sayısal arazi modelinin değerlendirilmesi: Bucak-Kocaaliler Yolu Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8 (2):172-183.
- Tomljanović K, Nosek H, Pernar R, Grubešić M (2018) Mogućnosti primjene lakih bespilotnih letjelica u prebrojavanju krupne divljači. *Šumarski List*, 142 (11–12):621–626. <https://doi.org/10.31298/sl.142.11-12.6>
- Türk Y, Canyurt H (2024) Capabilities of using UAVs to determine forest road excavation volumes in mountainous areas. *Šumarski List*, 3-4:139-152. <https://doi.org/10.31298/sl.148.3-4.3>
- Ulukavak M, Memduhoğlu A, Şenol Hİ, Polat N (2019) The Use of UAV and photogrammetry in digital documentation. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1(1):17-22.
- Ulvi A, Yiğit AY (2020) 3D Study of modelling and animation of Kayseri Gülük Mosque. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2 (2):33-37.
- Ulvi A, Yakar M, Yiğit AY, Kaya Y (2020) İHA ve yersel fotogrametrik teknikler kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Geomatik Dergisi*, 5 (1):19-26. <https://doi.org/10.29128/geomatik.560179>
- Ünver S, Yücesan Z (2024) Effects of Afforestation Activities in Forestry on Carbon Economy. Chapter 2: International Studies and Evaluations in The Field of Forestry and Forest Engineering. Serüven Publishing, 13-31, ISBN: 978-625-5955-95-1.
- Verykokou S, Ioannidis C, Athanasiou G, Doulamis N, Amditis A (2018) 3D reconstruction of disaster scenes for urban search and rescue. *Multimed. Tools Appl.*, 77:9691–9717. <https://doi.org/10.1007/s11042-017-5450-y>
- Videras Rodríguez M, Melgar SG, Cordero AS, Márquez JMA (2021) A critical review of unmanned aerial vehicles (UAVs) use in architecture and urbanism: scientometric and bibliometric analysis. *Appl. Sci.*, 11:9966. <https://doi.org/10.3390/app11219966>
- Zhang C, Kovacs JM (2012) The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. *Precision Agriculture*, 13(6):693–712. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>