



## Depo istif hacminin İHA teknolojisi ile hesaplanması: Samsun ili Tekkeköy Orman Deposu örneği

### Calculation of depot stack volume using UAV technology: A case study of Tekkeköy Forest Depot in Samsun Province

Turan SÖNMEZ <sup>id</sup>, Emir Talha KARAHAN <sup>id</sup>, Furkan Emre AKSAKAL <sup>id</sup>, Burhan GENÇAL <sup>id</sup>

Bursa Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye.

Sorumlu yazar:  
Burhan GENÇAL

E-mail:  
burhan.gencal@btu.edu.tr

Gönderim Tarihi:  
05/04/2024

Kabul Tarihi:  
04/06/2024

Atf:  
Sönmez, T., Karahan, E. T., Aksakal, F. E., Gençal, B. 2024. Depo istif hacminin İHA teknolojisi ile hesaplanması: Samsun ili Tekkeköy Orman Deposu örneği. Ağaç ve Orman, 5(1): 51-57.  
DOI:10.59751/agacorman.1465184

#### Özet

Bu çalışma, İnsansız Hava Aracı (İHA) teknolojisi kullanılarak bir orman deposundaki odun hacminin hesaplanması araştırmaktadır. Çalışma, Amasya Orman Bölge Müdürlüğü Samsun Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Tekkeköy Orman Deposu'nda gerçekleştirilmiştir. Depodaki 30 adet kayın tomruk istifi hacmi, DJI Matrice 300 RTK İHA ve Zenmuse P1 kamera ile toplanan görüntüler aracılığıyla Agisoft Metashape yazılımı kullanılarak fotogrametrik yöntemlerle ölçülmüştür. İHA uçuşları sonucunda hesaplanan tomruk hacimlerinde depo kayıtları ile karşılaştırılmış, uygulamada bulunan yerlerle depo verileri arasında -6,681 m<sup>3</sup> ile +7,829 m<sup>3</sup> arasında değişen hacim farkları gözlemlenmiştir. Eşleştirilmiş Örneklem T-Testi kullanılarak, İHA ve yazılımlar kullanılarak hesaplanan hacim ölçümleri ile gerçek depo ölçümleri arasında fark olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan analiz sonucu (t = -1,576; p = 0,126) iki yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı ortaya konulmuştur. Bu bulgular, İHA tekniklerinin tomruk istif hacmi tahmininde yersel ölçümlere güvenilir bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Araştırmanın sınırlı sayıda örnekleme göz önünde bulundurulduğunda, gelecekteki çalışmalarda örneklem sayısının ve çeşitliliğinin artırılması, bu yöntemin genel uygulanabilirliğini ve güvenilirliğini daha da pekiştirecektir. Bu çalışma, ormancılık sektöründe dijital teknolojilerin kullanımının önemini vurgulamakta ve tomruk istif hacmi tahmininde İHA kullanımının başarılı bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** İHA teknolojisi, tomruk hacmi tahmini, uzaktan algılama, orman deposu.

#### Abstract

This study investigates the feasibility of calculating wood volume in a forest depot using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology. The research was conducted at the Tekkeköy Forest Depot, affiliated with the Samsun Forest Management Directorate of the Amasya Regional Forest Directorate. The volume of 30 beech log stacks in the depot was measured using photogrammetric methods with images collected by the DJI Matrice 300 RTK UAV and Zenmuse P1 camera, processed with Agisoft Metashape software. The log volumes calculated as a result of the UAV flights showed variations in the range of -6.681 m<sup>3</sup> to 7.829 m<sup>3</sup> and were consistent with the depot volumes. A Paired Sample T-Test was employed to investigate if there was a significant difference between the volume measurements calculated using UAV and software and the actual depot measurements. The analysis results (t = -1.576; p = 0.126) indicated no statistically significant difference between the two methods. These findings suggest that UAV techniques could be a reliable alternative to terrestrial measurements for estimating the volume of log stacks. Considering the limited number of samples in this research, increasing the sample size and diversity in future studies will further reinforce the general applicability and reliability of this method. This study demonstrates the success of using UAVs in log volume estimation and emphasizes the importance of utilizing digital technologies in the forestry sector by offering innovative solutions for estimating the volume of log stacks.

**Keywords:** UAV technology, log volume estimation, remote sensing, forest depot.

## 1. Giriş

Küresel ticaretin gelişmesiyle, kereste üretimi, sürdürülebilir kaynak yönetimi ile sanayi ve yerel piyasaların artan talepleri arasındaki karmaşık dengeyi temsil eden önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization-FAO), 2020 yılında geçici bir düşüş yaşanmasının ardından, endüstriyel odun üretimi 2021'de %3,8'lik bir artışla yeniden yükselişe geçmiş ve 2022'de %0,04'lük küçük bir artış göstermiştir. Böylece 2022 yılı sonunda toplam üretim tahmini 510 milyon m<sup>3</sup> hacme ulaşmıştır. Bu hacim, 2000'li yıllara kıyasla küresel odun üretiminde %26'lık bir artış işaret etmektedir (Eurostat, 2023).

Endüstriyel odun, ormanlardan elde edilen en önemli ürünlerden biri olarak kabul edilerek ve Avrupa'da gayrisafı yurtiçi hasılanın %0,7'sini temsil etmektedir. (UNECE, 2020). Türkiye'de ise durum incelendiğinde, OGM (2009)'ne göre 2000 yılında endüstriyel odun üretimi ve yakacak odun üretimi sırasıyla yaklaşık 7,3 milyon m<sup>3</sup> ve 5,9 milyon m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. OGM (2024) yılındaki programa göre endüstriyel odun 25,6 milyon m<sup>3</sup> yakacak odun ise 4,9 milyon m<sup>3</sup> olarak planlanmıştır. Löwe vd. (2019), endüstriyel odunun ormancılıkta en önemli gelir kaynağı olduğunu belirtmiştir. Pazar yerinde birim fiyatı belirleyen sınıflandırmaların yanı sıra, ticarete konu odunun miktarını niceliksel olarak belirlemek için hacmin doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerekmektedir.

Odun miktarının yanlış tahminlerinin işletmelerin ekonomisini oldukça etkilemektedir. Kereste tedarik zincirinde, yüksek ekonomik etkisi nedeniyle yuvarlak odunun ölçümü önemli bir rol oynamaktadır (Berendt vd., 2019). Tüm bu veriler ve bilgiler ışığında küresel ölçekteki kereste talebi artmaya devam ederken, ormancılık sektörü, özellikle endüstriyel odun alanında, üretim ve ticaret uygulamalarının verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için yenilikçi çözümler aramaktadır. Son yıllarda, İnsansız Hava Araçları (İHA) birçok alanda, özellikle orman yönetimi olmak üzere, esneklik, maliyet etkinliği, güvenilirlik ve otonomi sağlayarak ve orta ile küçük ölçekli alanlarda yüksek çözünürlüklü veri toplama yetenekleri sayesinde devrim yaratmıştır (Zhang vd., 2016; Eker vd., 2018) İHA'ların uzaktan algılama uygulamalarında kullanımı sürekli genişlemekte olup, sürdürülebilir orman yönetimi için orman yapısı, meşcere hacmi, artım ve büyüme gibi bilgiler sağlamada temel bir araç haline gelmiştir (Tang ve Shao, 2015). İHA teknolojileri, özellikle orman örtüsünün genişliğini ve değişimini izleme, envanter ve haritalama, hacim, biyokütle ve zaman içinde karbon depolama, ormansızlaşma, yangın sonrası rehabilitasyon, orman sağlığı, karbon miktarı, iklim değişikliğinin etkileri gibi orman bilimindeki birçok uygulamada giderek daha fazla kullanılmaktadır (Ullah vd., 2016; Hopkinson vd., 2016; Kamlun vd., 2016; Chu ve Guo, 2013; Hall vd., 2016; Kumar vd., 2016; Schäfer vd., 2016; Steinaker vd., 2016). İHA'ları, zorlu arazi koşullarında bile yüksek çözünürlüklü ve doğru veri toplama kabiliyetleri sayesinde, orman depolarında tomruk istiflerinin hacim ölçümünde etkin bir araç haline gelmiştir. Bu teknolojinin uygulamaya alınması, geleneksel yöntemlere göre önemli zaman ve maliyet tasarrufu sağlamakta, ayrıca insan hatasını azaltarak ölçüm süreçlerinin doğruluğunu artırmaktadır (Lucieer vd., 2014). Bununla birlikte, İHA teknolojisinin operasyonel maliyetleri, teknik gereksinimleri ve kötü hava koşullarında sınırlı kullanımı gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu teknolojinin orman yönetimindeki potansiyelini tam olarak değerlendirebilmek için, teknolojik altyapının güçlendirilmesi, operatörlere yönelik eğitim programlarının geliştirilmesi ve daha dayanıklı İHA modellerinin tasarlanması gerekmektedir (Shervais, 2015; Steinaker vd., 2016). İHA destekli fotogrametrik yöntemler, yapısal hareketten (Structure from Motion - SfM) algoritması ile birleştirilerek, tomruk istiflerinin üç boyutlu (3B) sayısal modellerini oluşturmaktadır. Bu sayede, orman depolarındaki hacim tahminleri daha etkin ve doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bu fotogrametrik ölçüm yöntemlerinin keşfi, geleneksel uygulamalarla teknolojinin entegrasyonu sayesinde odun hacmi tahmininde doğruluk ve verimlilik potansiyelini vurgulayan birçok çalışmanın odak noktası olmuştur. Boberg ve Lilja (2016), Berendt vd., (2021), Cremer vd., (2021) gibi araştırmacılar, bu amaçla akıllı telefonların kullanımını derinlemesine incelemiş ve bu cihazların orman ölçümlerindeki pratikliğini ve erişilebilirliğini ortaya koymuştur. Bu noktada foto-optik olarak bilinen bazı mobil uygulamalarla (Polycam, Scanner 3D Scanner vb.), kolaylıkla tek veya istif şeklindeki odunların hacmi hesaplanabilmektedir. Bu yaklaşım, envanter sürecini hızlandırmakla kalmayıp, potansiyel insan hatasını da azaltarak, depoda bulunan tomrukların hacimlerinin daha güvenilir tahminini sağlamaktadır. Bu makalenin amacı,

orman içerisinde orman deposuna götürülen tomrukların istiflendikten sonra tomruk hacim tahminlerini, fotogrametrik işlemleri kullanarak bir İHA yardımı ile tahmin etmektir.

## 2. Materyal ve Metot

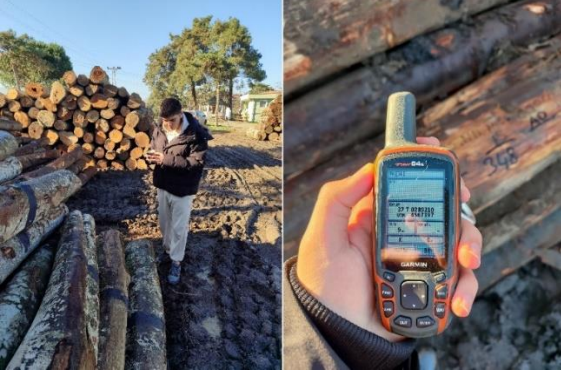
Çalışma, 2023 Ağustos ayında Amasya Orman Bölge Müdürlüğü Samsun Orman İşletme Müdürlüğü Tekkeköy Orman İşletme Şefliği'ne ait orman deposunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Tekkeköy orman deposu yaklaşık 2.5 hektar büyüklüğünde olup çeşitli türlerde ve sınıflarda odunlar bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının havadan ve yerden görüntüleri.  
Figure 1. Aerial and ground-level views of the study area.

Çalışma için 35 adet Kayın istifi depoda belirlenmiş ve hacimleri depo kayıtlarından alınmıştır. Çalışma kapsamında incelenen tomruk istifleri, normal uzunluklarda (2,5- 4 metre arasında) ve 3. sınıf kalın çap grubuna giren (40-49 cm çap aralığında) boyutlarda belirlenmiştir. Depodaki tomruk istiflerinin hacmi, depo kayıtlarından alınan verilere dayanarak değerlendirilmiştir. Bu kayıtlar, yerel pazarda kereste ticareti için kabul edilen standart yöntemlere uygun olarak daha önce hesaplanmış hacim bilgilerini içermektedir. Bu önceden belirlenmiş hacimler, her bir kerestenin orta çapının ölçülmesi ve bu ölçümlerin sektörde yaygın olarak kullanılan kübaj tabloları yoluyla elde edilmiştir. Kübaj tablosu, her bir kerestenin orta çapının ve uzunluğunun ölçülmesi ve bu ölçümlerin belirli bir formül veya tablo aracılığıyla hacme dönüştürülmesi işlemidir. Bu yöntem, özellikle yuvarlak odun gibi standart olmayan boyutlara sahip ürünler için pratik ve hızlı bir çözüm sunmaktadır. İHA teknolojisi ve depo kayıtlarını kıyaslamak için her bir istifin koordinatı GPS ile kayıt altına alınmıştır. İHA ve GPS'in koordinat sistemi UTM Zone 37N olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 2).

İHA teknolojisi ile yapılan ölçümlerde ise DJI Matrice 300 RTK ve İHA'ya entegre DJI Zenmuse P1 adlı kamera kullanılmıştır (Şekil 3). DJI Matrice 300 RTK, önde gelen ticari İHA modellerinden biri olup, 8,37 kg net ağırlık ve 810 × 670 × 430 mm boyutlarındadır. Çift GNSS RTK alıcısı ile donatılmış olan bu platform, birçok uydu sistemleriyle uyumlu çalışarak, D-RTK modunda dikey ve yatay boyutlarda ±0,1 m'lik hassasiyete ulaşmaktadır.



Şekil 2. GPS kullanarak istif konumlarının belirlenmesi.  
Figure 2. Identification of stack locations using GPS.



Şekil 3. Araştırmada kullanılan insansız hava aracı (DJI Matrice 300 RTK).

Figure 3. The unmanned aerial vehicle deployed for research (DJI Matrice 300 RTK).

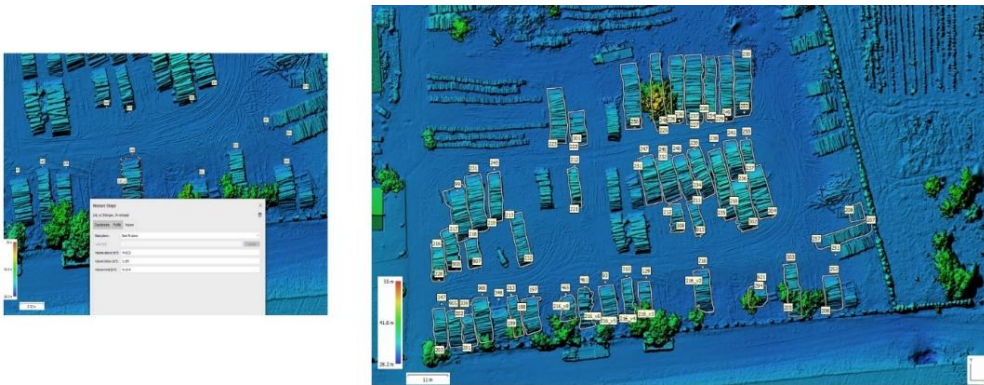
Çalışma kapsamında İHA'ya monte edilen DJI Zenmuse P1 kamerası mekanik deklanşöre ve tam kare sensöre ( $35,9 \times 24$  mm) sahiptir. Bu kamera, yer kontrol noktaları (YKN) kullanılmadan, tek bir uçuşta  $3 \text{ km}^2$ 'lik bir alanı, İHA'nda bulunan RTK aracılığıyla elde edilen konum bilgilerine göre  $0,03 \text{ m} - 0,05 \text{ m}$  arasında bir doğrulukla haritalayabilmektedir. Kameranın akıllı eğik çekim yeteneği sayesinde, tek bir uçuşta hem dik hem de eğik görüntüler elde edilir, bu da görüntülerin Yapıdan Hareket (SfM) algoritması kullanılarak işlenmesine olanak tanır. Uçuş planı ve haritalama görevi DJI Fly uygulamasında oluşturulmuş ve uçuş yüksekliği olarak  $110 \text{ m}$  seçilmiştir. Bu yükseklik seçimi, İHA operasyonlarında geniş alanların etkin bir şekilde haritalanması ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmesi arasında optimal bir denge sağlamaktadır. Uçuş yüksekliğinin çalışma sonuçları üzerindeki etkileri, tartışma bölümünde detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ön ve yan bindirme %80 olarak belirlenmiş ve kamera alana göre  $90^\circ$  açıda uçuşu tamamlamıştır. Bu

sayede alanın 3 boyutlu görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 4). Yoğun bir nokta bulutu, yüksek çözünürlüklü bir SYM ve ortofoto üretmek için SfM metodolojisi uygulanmıştır.



Şekil 4. Çalışma alanının gerçek renkli 3B model görseli.  
Figure 4. Real color 3D model visual of the study area.

Yaklaşık 6 dakika süren uçuşta toplam 273 fotoğraf kaydedilmiştir. Fotogrametrik analiz süreci, Agisoft Metashape (Agisoft, 2019) yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş olup, bu analiz sonucunda elde edilen nokta bulutu, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve ortofoto, tomruk istiflerinin hacimlerinin belirlenmesinde temel veri kaynakları olarak kullanılmıştır. Nokta bulutu, çok sayıda görüntüden elde edilen üç boyutlu koordinatların yoğun bir koleksiyonu olarak, istiflerin boyut ve hacimlerinin yüksek doğrulukla tespit edilmesini sağlamaktadır. SYM ise, arazi yüzeyinin ve dolayısıyla üzerinde yer alan istiflerin yükseklik bilgisini sağlayarak, hacim hesaplamalarının daha doğru bir referans noktasına dayandırılarak yapılmasına olanak tanımaktadır. Ortofoto ise, zeminin gerçek renk ve detaylarını yansıtarak istiflerin konumlarının ve sınırlarının daha kolay belirlenmesini sağlamıştır. Ortalama ortofoto çözünürlüğü ve SYM çözünürlüğü sırasıyla  $1,2 \text{ cm}$  ve  $3,88 \text{ cm}$  olarak ölçülmüştür. Çalışmada, Agisoft Metashape yazılımı kullanılarak SYM verilerinden hacim hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için, yazılımdaki model alanında bulunan 'Draw Polygon' (Poligon Çizim) aracı kullanılmıştır. İlk olarak, SYM üzerinde dikkatli bir şekilde tomrukların sınırları çizilir. Poligon çizimi tamamlandıktan sonra, şekil üzerinde sağ tıklayarak açılan menüden 'Measure' (Ölçüm) seçeneği seçilir ve ardından 'Volume' (Hacim) sekmesine gidilir. Burada, 'Volume Total ( $\text{m}^3$ )' alanından istenilen hacim elde edilebilir (Şekil 5).



Şekil 5. Sayısal yükseklik modelinde poligon aracı kullanarak hacim tahmini.  
Figure 5. Estimating volume with polygon tool in the digital elevation model.

Verilerin istatistiksel analizleri SPSS 28 adlı programda değerlendirilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesi için Shapiro Wilks testi uygulanmıştır. Test bulgularında normal dağılım tespit edilmiştir, bu nedenle analizde parametrik testler kullanılmıştır. Yersel ölçülen hacim verisi ile İHA yardımıyla ölçülen hacim verilerini karşılaştırmak için Eşleştirilmiş Örneklem T-testi kullanılmıştır. Ölçümlerde anlamlılık düzeyi 0,05 alınmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, İHA teknolojisinin tomruk hacim tahmininde kullanım potansiyelini değerlendirmek amacıyla, Tekkeköy orman deposu üzerinde İHA ile bir uçuş gerçekleştirilmiştir. Yoğun bir nokta bulutu, yüksek çözünürlüklü bir SYM ve ortofoto üretmek için SfM metodolojisi uygulanmıştır. Elde edilen SYM ve ortofoto, sırasıyla, 3,88 cm ve 1,2 cm'lik çözünürlüğe sahiptir. Bu çalışmada, tomruk hacmi hesaplamaları için nokta bulutundan elde edilen ortofoto ve SYM'den yararlanılmıştır; bu bulut, uçuş alanının hepsini içine alan 30 milyona yakın nokta içermekte ve nokta yoğunluğu açısından oldukça detaylı bir veri seti oluşturmuştur. İncelenen 35 tomruk istifi içerisinde beş istif, ağaç tacı altında kaldığı için (Şekil 6.) hacim hesaplamasına dahil edilememiştir; bu sebeple 30 tomruk üzerinden analiz yürütülmüştür. Araştırmada incelenen istifinin hesaplanan hacimleri, depo kayıtlarıyla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Yersel ölçüm yöntemleri ve İHA teknolojisi kullanımı neticesinde elde edilen ortalama hacim değerleri sırasıyla 48,03 m<sup>3</sup> ve 49,0 m<sup>3</sup> olarak saptanmıştır.



Şekil 6. Çalışma alanındaki bir ağacın taç yapısının hacim hesabındaki engellemesi.

Figure 6. Canopy interference in volume calculation of a tree in the study area.

İHA ile yapılan uçuşlar sonucunda hesaplanan tomruk hacimlerinde depo kayıtları ile karşılaştırıldığında, uygulamada bulunan verilerle depo verileri arasında -6,681 m<sup>3</sup> ile +7,829 m<sup>3</sup> arasında değişen hacim farkları gözlemlenmiştir (Tablo 1). Depo kayıtlarındaki en yüksek ve en düşük hacim değerleri 105,24 m<sup>3</sup> ve 5,35 m<sup>3</sup> olarak belirlenirken, İHA teknolojisi

kullanılarak hesaplanan hacimlerin en yüksek ve en düşük değerleri sırasıyla 104,22 m<sup>3</sup> ve 8,34 m<sup>3</sup> olarak kayıtlara geçmiştir. Karşılaştırma sonucunda İHA teknolojisi kullanılarak belirlenen istif hacimlerinde yaklaşık +%2'lik bir hacim farkı ortaya çıktığı saptanmıştır. Her iki teknik de benzer standart sapma ve hata değerlerine sahip olduğundan, ölçümlerin güvenilirliği açısından tutarlılık göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 1. Hesaplanan hacim ile depo hacminin karşılaştırmalı analizi.

Table 1. Comparative analysis of calculated volume and depot volume.

İstif No	İstifteki Odun sayısı	Depo Kayıtlarındaki Hacim (A)	İHA ile Hesaplanan Hacim (B)	Fark (B-A)
99	154	62,614	60,096	-2,518
212	115	48,902	51,641	2,739
213	220	29,108	32,193	3,085
216	215	44,979	41,514	-3,465
228	74	45,048	47,945	2,897
231	301	64,008	64,829	0,821
238	288	105,246	104,223	-1,023
239	186	59,220	63,041	3,821
240	131	55,196	48,515	-6,681
241	128	44,152	46,382	2,230
245	157	57,692	57,627	-0,065
246	249	38,236	31,670	-6,566
247	292	59,679	62,985	3,306
249	452	69,711	72,951	3,240
253	239	72,096	72,207	0,111
254	239	72,096	71,171	-0,925
255	92	25,089	25,859	0,770
301	191	92,528	93,01	0,482
303	143	55,146	60,791	5,645
304	183	82,977	82,407	-0,570
308	74	23,654	30,453	6,799
310	116	33,86	31,477	-2,383
347	211	33,556	32,785	-0,771
465	67	23,655	22,000	-1,655
524	32	5,357	8,345	2,988
621	49	13,891	17,518	3,627
813	124	19,442	27,271	7,829
905	129	30,376	30,345	-0,031
907	75	26,354	28,821	2,467
908	122	47,104	50,174	3,070

İHA teknolojisi kullanılarak yapılan hacim hesaplamaları ile depo kayıtlarındaki hacimler arasında ilişki olup olmadığı Pearson Korelasyon analizi ile araştırılmıştır. Yapılan analiz sonucu hacimler arasında istatistiksel olarak çok kuvvetli pozitif korelasyon gösterdiği ve sonuçların anlamlı olduğu tespit edilmiştir ( $r=0,99$ ;  $p<0,05$ ) (Tablo 3).

Depo kayıtları ile İHA teknolojisi arasındaki hacim değerleri farkının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için hipotez testi yapılmıştır. Yapılan Eşleştirilmiş Örneklem T-testi sonucunda, iki ölçüm yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ortaya konmuştur ( $t = -1,576$ ;  $p = 0,126$ ) (Tablo 4).

Tablo 2. Farklı ölçüm teknikleriyle elde edilen hacimlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesi.  
Table 2. Comparative evaluation of volumes derived from different measurement techniques.

Ölçüm Tekniği	Ortalama Hacim (m <sup>3</sup> )	İstif Sayısı (adet)	Minimum	Maksimum	Standart sapma	Standart Hata	Hacim farkı (%)
Depo Kayıtları	48,03	30	5,35	105,24	23,65	4,31	-
İHA Teknolojisi	49,0	30	8,34	104,22	23,03	4,20	+2,01

Tablo 3. Ölçüm teknikleri arasındaki korelasyonları değerlendirmek için yapılan pearson analizi sonuçları.  
Table 3. Pearson analysis outcomes for assessing correlations among measurement techniques.

Değişken	N	r	p
Depo Kayıtları	30	0,99	0,000
İHA Teknolojisi			

Tablo 4. Ölçüm tekniklerinin ortalamaları arasındaki karşılaştırmayı içeren Eşleştirilmiş Örneklem T-testi sonuçları.  
Table 4. Paired Sample T-test outcomes comparing mean values of measurement techniques.

Ölçüm Tekniği	N	$\bar{x}$	$Sh_x$	t Testi		
				t	Sd	p
Depo Kayıtları	30	48,03	4,31	-1,576	29	0,126
İHA Teknolojisi	30	49,0	4,20			

Bu bulgular, depo kayıtları ve İHA teknolojisi aracılığıyla elde edilen hacim tahminlerinin uyumlu olduğunu göstermektedir. İHA teknolojisi, ormancılık sektöründe depodaki odun istiflerinin hacminin belirlenmesi için pratik ve yenilikçi bir alternatif sunabilir. İHA ile elde edilen ve depo kayıtlarındaki hacimler arasındaki farklılıklar, uçuş açılarının neden olduğu görüntüleme hataları, sensör kalitesi, uçuş yüksekliği gibi teknik faktörlerden kaynaklanabilmektedir (Eker ve Aydın, 2020). Ayrıca, araştırma sahasının yerleşim koşulları ve odun istiflerinin yerleşimi, İHA teknolojisiyle yapılan ölçümlerin hassasiyetini etkileyebilmektedir.

Eker ve Aydın (2020)'nın araştırması, İHA teknolojisi ve geleneksel yöntemler arasındaki odun hacmi ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasını ele almıştır. Çalışmada dört adet istifin hacim farkı dağılımının +4,402 m<sup>3</sup> ile -0,255 m<sup>3</sup> arasında değiştiğini belirlenmiş, ölçüm teknikleri arasındaki varyasyonları ve potansiyel doğruluk sınırlarını gösterilmiştir.

Çalışmamızda uygulanan 110 metre uçuş yüksekliği, işletme tarafından önerilen standart bir protokol olmasına rağmen, farklı uçuş yüksekliklerinin araştırma sonuçları üzerindeki etkilerini değerlendirmek önemlidir. Genel olarak, daha düşük bir uçuş yüksekliği (örneğin, 40, 50 veya 70 metre), görüntü detaylarının artmasını sağlayarak daha yüksek çözünürlüklü veri toplanmasına olanak tanır. Bununla birlikte, bu yüksekliklerde uçuş süresi artar ve kapsanan alan azalır, bu da geniş alanların haritalanması için gereken zamanı ve maliyeti artırabilir. Ayrıca, alçak irtifada uçuşlar daha fazla hava trafiği engeline maruz kalabilir ve bu da İHA'nın güvenliği açısından risk oluşturabilir.

Çalışmamızda, İHA ile yapılan hacim ölçümleri sırasında bazı tomruk istiflerinin ağaç tacı gibi doğal engellerle kapanmış olması nedeniyle 5 adet istif analiz dışı bırakılmıştır. Bu durum, İHA ile yapılan depo hacmi ölçümlerinde karşılaşılabilecek zorlukları göstermektedir. İdeal olarak, her türlü engelin varlığında bile doğru hacim hesaplamalarının yapılabilmesi için gelişmiş görüntü işleme teknikleri ve engelleri tanı-

yıp aşabilen algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, bu engellerin hacim hesaplamalarına etkisini minimize edecek şekilde veri işleme yöntemleri geliştirilebilir. Ayrıca, engellerin konumlarının daha detaylı haritalanması, engellerin veri üzerindeki etkilerini azaltabilir. Bu çalışmada ele alınamayan bu tür gelişmiş yöntemler, gelecekteki araştırmalarda İHA kullanımının doğruluğunu artırarak daha kapsamlı veri toplama imkânı sunabilir.

Yersel ölçüm yöntemi ile İHA teknolojisi ile yapılan ölçümler arasındaki farklar, özellikle tomruk istifleri arasındaki boşlukların varlığı göz önünde bulundurulduğunda önem kazanmaktadır. Çalışmamızda, geleneksel yöntemlerle hesaplanan hacimler, tomrukların orta çap bilgileri kullanılarak kübaj tablosu aracılığıyla elde edilmiştir. Bu yöntem, genellikle her bir tomruğun hacmini ayrı ayrı hesaplar ve istifler arasındaki boşlukları göz ardı eder. Buna karşın, İHA ile yapılan ölçümlerde, tomruklar arasındaki boşluklar da dahil olmak üzere tüm istifin hacmi hesaplanmaktadır. Bu durum, İHA ölçümlerinin genellikle daha yüksek hacim değerleri vermesine neden olabilir. Bu farkın, tomruk istiflerinin şekli ve düzenlenme biçimi nedeniyle değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. İHA'ları ile yapılan hacim ölçümünde bu boşlukların doğru bir şekilde hesaba katılması için geliştirilmiş görüntü işleme algoritmalarının kullanılması önerilmektedir. Bu algoritmalar, tomruk ve boşlukları daha kesin bir şekilde ayırt edebilir ve böylece daha doğru hacim hesaplamalarına imkân tanıyabilir. Ayrıca, bu tür farklılıkları daha iyi anlamak ve gelişmiş ölçüm tekniklerinin entegrasyonu konusunda gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturabilir.

Günümüzde, ormancılık sektöründe dijital teknolojilerin kullanımını hızla artmaktadır. Bu da alan çalışmalarının verimliliğini ve doğruluğunu önemli ölçüde artırmaktadır. Yüksek çözünürlüklü kameraların yanı sıra artık özellikle Işık Algılama ve Mesafe Belirleme (Lidar - Laser Imaging Detection and Ranging) teknolojisinin entegrasyonu sayesinde, odunların ölçümünde yeni alanlar açmaktadır. Bu sayede dar konumlandırılan istiflerin arasına bile Lidar ışınları girebilmekte ve

daha doğru tahminler bulunabilmektedir. Ayrıca İHA'lara takılan Lidar sensörlerinin yanında iOS işletim sistemine sahip cihazlarda kullanılmaya başlanan Lidar orman envanteri ve tek ağaç hacmi ölçümleri gibi spesifik alanlarda önemli avantajlar sunmaktadır. Balzter vd. (2007), Magnussen vd. (2018), Pyörälä vd. (2019), Gollob vd. (2021) ve Xu vd. (2021) tarafından yapılan çalışmalar, LiDAR'ın orman envanteri ölçümlerindeki etkinliğini göstermiştir. Bu gelişmeler, ormancılık sektörünün geleceğinde dijital teknolojilerin merkezi bir rol oynayacağını ve arazi çalışmalarının doğruluğunu ve hızını artırarak sektörü daha da ileriye taşıyacağını göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, bir İHA ile elde edilen görüntüler üzerinden Agisoft Metashape yazılımı kullanılarak hacim tahminleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, yersel ölçümler ile uzaktan algılama yöntemleri arasındaki hacim değerleri farklılığının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için yapılan T-testiyle değerlendirilmiştir. Yapılan Eşleştirilmiş Örneklem T-testi sonucu, iki ölçüm yöntemi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığı ( $t = -1,576$ ;  $p = 0,126$ ) bulunmuştur. Karşılaştırma sonucunda İHA teknolojisi kullanılarak belirlenen istif hacimlerinde yaklaşık %2'lik bir hacim farkı ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç, İHA yardımıyla elde edilen görüntüler üzerinden yapılan ölçümlerin, yersel ölçümlerle karşılaştırılabilir düzeyde güvenilir olduğunu göstermektedir. İHA sistemlerinin kullanımı zaman ve maliyet açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında sunulacak öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Ormancılık sektöründeki kurum ve kuruluşlar, uzaktan algılama teknolojilerine ve özellikle uygun fiyatlı İHA veya Lidar özelliği olan tablet veya telefonların kullanımına yönelik yatırımlar artırılabilir. Bu, veri toplama süreçlerini hızlandıracaktır.
- Uzaktan algılama tekniklerinin etkin kullanımı için gerekli bilgi ve becerilere sahip personel yetiştirilmelidir. Bu amaçla, eğitim ve sertifikasyon programları geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.
- Uzaktan algılama tekniklerinin ormancılık sektöründeki potansiyelini daha da artırmak için, bu alanda araştırma ve geliştirme faaliyetlerine yatırım yapılması önemlidir.
- İHA teknolojisinin uygulanmasındaki zorluklar, sensör teknolojisindeki gelişmelerle ve daha detaylı uçuş planlamasıyla minimize edilebilir. Fakat, elde edilen verilerin doğruluğunu artırmak için, sensör kalitesinin yanı sıra, uçuş stratejilerinin ve veri işleme tekniklerinin de sürekli olarak iyileştirilmesi gerekmektedir.
- İHA teknolojisine dayalı hacim tahminlerinin güvenilirliğini artıracak standart yöntemlerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.
- İstiflerinin hacim tahminlerinde İHA teknolojisinin getirdiği yeniliklerin, bu tür teknik ve operasyonel zorluklarla başa çıkabilecek bilgi ve becerilerle desteklenmesi, bu yöntemin ormancılık sektöründe daha geniş bir kabul görmesini sağlayacaktır.
- Çalışmamızda uygulanan 110 metre yükseklik, bu tür riskleri minimize ederken, geniş bir alanın etkili bir şekilde haritalanmasını sağlamıştır. Bu yükseklikte elde edilen veriler, çalışmanın gereksinimlerini karşılamakta yeterli olmuş, ancak farklı senaryolar ve ihtiyaçlar için ideal uçuş yüksekliklerinin belirlenmesi, spesifik proje hedeflerine ve yerel koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, İHA kullanımı planlanırken, proje hedefleri ve çevresel faktörler doğrultusunda optimal uçuş yüksekliğinin dikkatlice değerlendirilmesi önerilmektedir.
- Çalışmamızda, ağaç tacı gibi doğal engeller nedeniyle bazı tomruk istiflerinin hacim ölçümlerine dahil edilememesi önemli bir sorun olarak tespit edilmiştir. Bu tür engeller, İHA ile yapılan ölçümlerin doğruluğunu etkileyebilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için daha gelişmiş görüntü tanıma ve işleme teknikleri geliştirilmelidir. Ayrıca, İHA'nın engellere karşı daha duyarlı ve adaptif olmasını sağlayacak teknolojik iyileştirmeler yapılmalıdır. Veri işleme ve analiz yöntemlerinin optimize edilmesi de engellerin etkisini azaltacaktır. Bu yaklaşımlar, doğal engellerin varlığında bile yüksek doğrulukta hacim hesaplamalarının yapılmasını mümkün kılacaktır.
- Tomruk ve boşlukları daha doğru ayırtmak için gelişmiş görüntü işleme algoritmalarının kullanımı önerilebilir. Bu hem ölçüm doğruluğunu artırabilir hem de İHA ile yapılan ölçümlerin genel kalitesini iyileştirebilir. Bu yaklaşımlar, İHA teknolojisini kullanarak yapılan çevresel ve ormancılık çalışmalarının etkinliğini artıracaktır.

Bu çalışma, 30 adet tomruk istifi üzerinde gerçekleştirilmiş olup, uzaktan algılama tekniklerinin tomruk hacmi tahminindeki etkinliğine dair önemli bulgular sunmaktadır. Araştırmanın bu aşamasında sınırlı sayıda örneklem kullanılması, gelecekteki çalışmalar için bir temel teşkil edebilir. Elde edilen sonuçların daha geniş bir istif veya depo verisi üzerinde doğrulanması, metodolojiyi ve genel uygulanabilirliğini pekiştirecektir. Bu nedenle, örneklem büyüklüğünün ve çeşitliliğinin artırılması, çalışmanın kapsamını genişletmek ve daha kapsamlı sonuçlar elde etmek açısından değerli bir adım olacaktır. İlerleyen araştırmalarda, farklı hacim, çap veya türlere sahip daha fazla istifin incelenmesi, bulguların güvenilirliğini artıracak ve uzaktan algılama tekniklerinin tomruk istif hacmi tahminindeki potansiyelini daha net bir şekilde ortaya koyacaktır. Bu yaklaşım ile İHA veya uzaktan algılama teknolojilerinin çeşitli orman depolarında uygulanabilirliğini daha detaylı bir şekilde anlamamızı sağlayarak, ormancılık sektöründe etkin kullanımlarına dair yol gösterici olacaktır. Sonuç olarak, çalışma uzaktan algılama tekniklerinin, tomruk istif hacmi tahminleri konusunda yersel ölçümlere güvenilir bir alternatif sunabileceğini ortaya koymuştur. Bu tekniklerin etkin kullanımı, ormancılık sektöründe iş süreçlerini geliştirme ve optimizasyonuna önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine olanak sağlayan Samsun Orman İşletme Müdürlüğü ve Tekkeköy Orman İşletme Şefliği'ne, özellikle de İHA uçuşunun gerçekleştirilmesinde yardımcı olan personele teşekkürlerimizi sunarız.

## Yazar katkıları

Fikir: T.S., B.G; Tasarım: T.S., B.G; Yönetim: T.S., B.G.; Veri toplama: E.T.K.; Analizler: B.G., E.T.K., F.E.A.; Literatür taraması: B.G., E.T.K., F.E.A.; Kaleme alma: T.S., B.G.; Son kontrol: T.S.

## Kaynaklar

AgiSoft, 2019. Agisoft Metashape. <https://www.agisoft.com/>

Balzter, H., Rowland, C., Saich, P., 2007. Forest canopy height and carbon estimation at Monks Wood National Nature Reserve, UK, using dual-wavelength SAR interferometry. *Remote Sensing of Environment* 108(3): 224–239. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.014>

Berendt, F., de Miguel-Diez, F., Wallor, E., Blasko, L., Cremer, T., 2021. Comparison of different approaches to estimate bark volume of industrial wood at disc and log scale. *Sci. Rep.*, 11, 15630.

Berendt, F., Wolfgramm, F., Cremer, T., 2021. Reliability of photo-optical measurements of log stack gross volume. *Silva Fennica* 55(3): 10555. <https://doi.org/10.14214/sf.10555>.

Boberg, A., Lilja, J., 2016. Precision vid travmätning av rundvirke med en fotoinventeringsteknik applicerat i smarta telefoner. Kandidatarbete n i skogsvetenskap. *Swedish University of Agricultural Sciences*. Uppsala, 33 p

Chu, T., Guo, X., 2013. Remote sensing techniques in monitoring post-fire effects and patterns of forest recovery in boreal forest regions: A review. *Remote Sensing*, 6(1), 470-520.

Cremer, T., Berendt, F., Diez, F. de M., Wolfgramm, F., Blasko, L., 2021. Accuracy of Photo-Optical Measurement of Wood Piles. *Environmental Sciences Proceedings* 3(1): 90. <https://doi.org/10.3390/iecf2020-08192>

DJI, 2022. Matrice 300. <https://www.dji.com> (Erişim tarihi: 15 Mart, 2024).

Eker, R., Aydın, A., Hübl, J., 2018. Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-14.

Eker, R., Aydın, A., 2020. The use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Tracking Stock Movements in Forest Enterprise Depots. *European Journal of Forest Engineering*, 6 (2), 68-77.

Eurostat, 2023. Wood products - production and trade. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Wood\\_products\\_-\\_production\\_and\\_trade#Roundwood\\_production](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Wood_products_-_production_and_trade#Roundwood_production) (Erişim Tarihi: 15 Mart, 2024)

Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., Nothdurft, A., 2021. Measurement of Forest Inventory Parameters with Apple iPad Pro and Integrated LiDAR Technology. *Remote Sensing* 13(16): 3129. <https://doi.org/10.3390/rs13163129>

Hall, R. J., Castilla, G., White, J. C., Cooke, B. J., Skakun, R. S., 2016. Remote sensing of forest pest damage: A review and lessons learned from a Canadian perspective. *The Canadian Entomologist*, 148(S1), 296-S356.

Hopkinson, C., Chasmer, L., Barr, A. G., Kljun, N., Black, T. A., McCaughey, J. H., 2016. Monitoring boreal forest biomass and carbon storage change by integrating airborne laser scanning, biometry

and eddy covariance data. *Remote Sensing of Environment*, 181, 82-95.

Kumar, P., Pandey, P. C., Singh, B. K., Katiyar, S., Mandal, V. P., Rani, M., Patariya, S., 2016. Estimation of accumulated soil organic carbon stock in tropical forest using geospatial strategy. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(1), 109-123.

Löwe, R.; Sedmíková, M.; Natov, P.; Jankovský, M.; Hejmanová, P.; Dvořák, J., 2019. Differences in timber volume estimates using various algorithms available in the control and information systems of harvesters. *Forests*, 10, 388.

Lucieer, A., Jong, S. M. D., Turner, D., 2014. Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. *Progress in physical geography*, 38(1), 97-116.

Magnussen, S., Nord-Larsen, T., Riis-Nielsen, T., 2018. Lidar supported estimators of wood volume and aboveground biomass from the Danish national forest inventory (2012– 2016). *Remote Sensing of Environment* 211: 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.015>

OGM, 2009. Orman Genel Müdürlüğü Üretim Pazarlama Faaliyetleri (Bilanço Sonuçları) Değerlendirmesi. [www.ogm.gov.tr](http://www.ogm.gov.tr) (Erişim Tarihi: 15 Mart, 2024).

OGM, 2024. Orman Genel Müdürlüğü Üretim, Satış ve Stok Faaliyetleri. [www.ogm.gov.tr](http://www.ogm.gov.tr) (Erişim Tarihi: 15 Mart, 2024).

Pyörälä, J., Saarinen, N., Kankare, V., Coops, N.C., Liang, X., Wang, Y., Holopainen, M., Hyypä, J., Vastaranta, M., 2019. Variability of wood properties using airborne and terrestrial laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 235: 111474. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111474>

Schäfer, E., Heiskanen, J., Heikinheimo, V., Pellikka, P., 2016. Mapping tree species diversity of a tropical montane forest by unsupervised clustering of airborne imaging spectroscopy data. *Ecological indicators*, 64, 49-58.

Shervais, K., (2015). Structure from motion introductory guide. Version Oct, 22, 2015.

Steinaker, D. F., Jobbágy, E. G., Martini, J. P., Arroyo, D. N., Pacheco, J. L., Marchesini, V. A., 2016. Vegetation composition and structure changes following roller-chopping deforestation in central Argentina woodlands. *Journal of Arid Environments*, 133, 19-24.

Tang, L., Shao, G., 2015. Drone remote sensing for forestry research and practices. *Journal of forestry research*, 26, 791-797.

Ullah, S., Farooq, M., Shafique, M., Siyab, M. A., Kareem, F., Dees, M., 2016. Spatial assessment of forest cover and land-use changes in the Hindu-Kush mountain ranges of northern Pakistan. *Journal of Mountain Science*, 13, 1229-1237.

UNECE, 2020. Summary for Policy Markers State of Europe's Forest. In Proceedings of the Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Bratislava, Slovakia, 14–15 April 2020.

Xu, D., Wang, H., Xu, W., Luan, Z., Xu, X., 2021. LiDAR Applications to Estimate Forest Biomass at Individual Tree Scale : Opportunities, Challenges and Future Perspectives. *Forests* 12(5): 550. <https://doi.org/10.3390/f12050550>

Zhang, J., Hu, J., Lian, J., Fan, Z., Ouyang, X., Ye, W., 2016. Seeing the forest from drones: Testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring. *Biological Conservation*, 198, 60-69.