

İnsansız hava aracıyla elde edilen hava fotoğraflarından kızılçam ağaçlarının çap ve boylarının ölçümü ve gövde hacminin tahmini

Hakan Durgun^{a,*} , H. Oğuz Çoban^a , Mehmet Eker^a 

Özet: Modern ormancılık çalışmalarında uzaktan algılama veri ve yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde insansız hava araçlarındaki (İHA) algılayıcı sistemlerle alınan hava fotoğrafları, yazılım fotogrametrisiyle işlenerek nokta bulutu ve ortomozaik gibi veriler üretilebilmektedir. Böylece orman ekosistemlerinde bazı ölçümlerin uzaktan yapılması mümkün olabilmektedir. Bir ormanlık alanda kesilen ya da herhangi bir nedenle devrilen ağaçların pratik bir şekilde kabuklu gövde hacimlerinin tahmini gerekebilir. Bu çalışmada İHA fotoğraflarından üretilen ortomozaik ve nokta bulutu verilerinden kesilmiş kızılçam ağaçlarının (*Pinus brutia* Ten.) çap ve boy ölçümleri yapılarak kabuklu gövde hacimlerinin tahmini amaçlanmıştır. Çalışma, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğü, Çandır Orman İşletme Şefliği sınırlarında bulunan 2 farklı kızılçam meşceresinde gerçekleştirilmiştir. Bu alanlarda İHA fotoğraflarından üretilen nokta bulutu ve ortomozaikler üzerinde toplam 175 adet kesilmiş kızılçam ağacının göğüs çapı ($d_{1.3}$) ve boyu ölçülmüş, elde edilen değerlerden çeşitli yöntemlerle hacim tahminleri yapılmış ve sonuçlar arazi ölçümleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada hava fotoğraflarının yer örnekleme aralığına bağlı olarak hesaplanan çap ve boy ölçüm sonuçları da kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgulara göre, İHA fotogrametrisi ve referans veriler arasında çap ölçümünde en düşük 0.78, en yüksek 0.92, boy ölçümünde en düşük 0.96, en yüksek 0.99, hacim tahmininde de en düşük 0.70 ve en yüksek 0.93 korelasyon değeri bulunmuştur. Sonuç olarak, günümüzde pratik bir uzaktan algılama aracı olarak tercih edilen İHA'ların yerde yatık haldeki kızılçam ağaçlarının çap ve boy ölçümlerinde kullanılabilmesi ve bu ölçümler sonucunda gövde hacimlerinin İHA fotogrametrisiyle başarılı bir şekilde tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: İHA, Nokta bulutu, Ortomozaik, Ağaç çap ve boy ölçümü, Kabuklu gövde hacmi

Estimating stem volume and measuring diameter and height of brutian pine trees from aerial photographs taken by unmanned aerial vehicle

Abstract: Remote sensing data and techniques are widely used in modern forestry studies. Today, aerial photographs taken with remote sensors on Unmanned Aerial Vehicles (UAV) can be processed by using softcopy photogrammetry to produce data such as point cloud and orthomosaic. Therefore, it is possible to make some remote measurements in forest ecosystems. It may be necessary to predict stem volumes of trees cut down in a forest area or felled for any reason in a practical way. In this study, it is aimed to predict the over-bark stem volumes by measuring the diameter and height of cut brutian pine trees (*Pinus brutia* Ten.) in orthomosaic and point cloud data produced from UAV photographs. The study was carried out in 2 different brutian pine stands located within the borders of Çandır Forestry Chief of Sütçüler Forestry Directorate in Isparta Regional Directorate of Forestry. In these areas, the diameter at breast height ($d_{1.3}$) and total height of 175 cut brutian pine trees were measured on the point cloud and orthomosaics, tree volume predictions were made from these values obtained by various methods and the results were compared with the references data based on field measurements. In the study, the diameter and height measurement results calculated depending on the ground sampling distance of the aerial photographs were also compared. According to the findings, the lowest correlation value of 0.78 and the highest 0.92 for diameter measurements, the lowest 0.96 and highest 0.99 correlation values in height measurements, the lowest 0.70 and the highest 0.93 correlation values in stem volume predictions were obtained between UAV photogrammetry and reference data. As a result, it has been understood that UAVs, which are preferred as a practical remote sensing tool today, can be used to measure the diameter and height of pine trees lying on the ground and stem volumes can be successfully predicted by UAV photogrammetry.

Keywords: UAV, Point cloud, Orthomosaic, Tree diameter and height measurement, Over-bark stem volume

1. Giriş

Modern ormancılık çalışmalarında üstün performansları nedeniyle Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile uzaktan algılama veri ve yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Orman ekosistemlerindeki değişkenlerin tanımlanması, ölçülmesi ve bazı konumsal analizlerin uzaktan elde edilen veriler

kullanılarak yapılabilmesi, bu sayısal sistemlerin ormancılık çalışmaları için vazgeçilmez bir araç ve önemli bir karar destek sistemi olmasını sağlamıştır (Akay ve Şakar, 2009; Çoban ve Erdin, 2020). Fiziksel temas kurulmaksızın bir obje veya bir olay hakkında bilgi toplama bilimi olan uzaktan algılama (Yomralıoğlu, 2000) verilerinin, yeryüzünde konumu bilinen verilerin toplanması, depolanması,

✉ ^a Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Orman İnşaatı Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): hakandurgun@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 04.11.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 20.12.2022



Citation (Atıf): Durgun, H., Çoban, H.O., Eker, M., 2022. İnsansız hava aracıyla elde edilen hava fotoğraflarından kızılçam ağaçlarının çap ve boylarının ölçümü ve gövde hacminin tahmini. Turkish Journal of Forestry, 23(4): 255-267. DOI: [10.18182/tjf.1199567](https://doi.org/10.18182/tjf.1199567)

ilişkilendirilmesi, işlenmesi, sorgulanması ve analizi gibi işlevlere sahip olan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'yle (Koç, 1993) entegrasyonu ve altlık veri olarak kullanılması, onu çok güçlü bir veri kaynağı durumuna getirmektedir (Balci vd., 2000).

Ormancılık çalışmalarının planlama, karar verme ve yönetim aşamalarında nitelikli ve hassas veriye büyük bir ihtiyaç bulunmaktadır (Eker ve Özer, 2015; Buğday, 2016). Uydu görüntüleri veya hava araçları yardımıyla elde edilen hava fotoğrafları gibi uzaktan algılama verileri, görüntü işleme teknikleriyle işlendikten sonra ormancılıkta çeşitli çalışma alanlarında kullanılabilir. 2010'lu yıllarda sivil amaçlar için kullanılmaya başlanan insansız hava araçları (İHA), diğer hava araçlarına nazaran çok daha düşük maliyetlerle erişilebilirliği ve pratik olması gibi avantajları sayesinde uzaktan algılamada tercih edilmektedir (Seki vd., 2017).

İHA'ların ormancılıkla ilgili bilimsel çalışmalarda, ağaç boylarının hesaplanması (Lim vd., 2015), meşcerelerin ağaç bireyi bazında sınıflandırılması (Yurtseven vd., 2015), biyokütle tahmin ve envanter çalışmaları (Messinger vd., 2016; Durgun vd., 2022a), ağaçların otomatik tespiti (Mohan vd., 2017; Morales vd., 2018) ve ağaç hacim tahmin çalışmalarında (Zhou vd., 2019) kullanılmış olduğu görülmektedir. Özellikle İHA'lardan elde edilen fotogrametrik ürünlerin yapay zekâ yöntemleriyle birlikte değerlendirilmesi İHA verilerini çok güçlü ve kıymetli bir hale getirmektedir (Liu vd., 2021). İHA verilerinin orman yönetimi ve planlaması aşamasında bilimsel veri olarak kullanılabilmesi, bu verilerin CBS yazılımlarıyla birlikte değerlendirilmesinin ormancılık çalışmalarına birçok alanda yararlı olabileceği belirtilmiştir (Buğday, 2019).

Orman ekosistemlerinde, orman envanteri ve planlama çalışmalarının önemli bir adımı ağaç gövde hacimlerinin tahminidir. Gövde hacimlerinin tahmini için ağaçların gövde çaplarının ve boylarının doğru bir şekilde ölçülmesi gereklidir. Ülkemiz ormancılık uygulamalarında, ağaç türlerine ait gövde hacim tahminlerinde çoğunlukla yöresel tek girişli hacim tabloları kullanılmaktadır (Alkan ve Özçelik, 2021). Tomruk hacim tahmini için çoğunlukla Huber, Smalian ve Newton-Riecke formülleri kullanılmasının yanında gövdenin eşit uzunluktaki seksiyonlara ayrılarak hacimlendirilmesi de mümkündür. Seksiyonlara ayırma yöntemi, bilimsel araştırma ve meşcere hacminin belirlenmesi gibi amaçlarla kesilen ağaçların ya da uzun ve değerli gövdelerin hacminin tahmininde kullanılmaktadır (Carus, 2002).

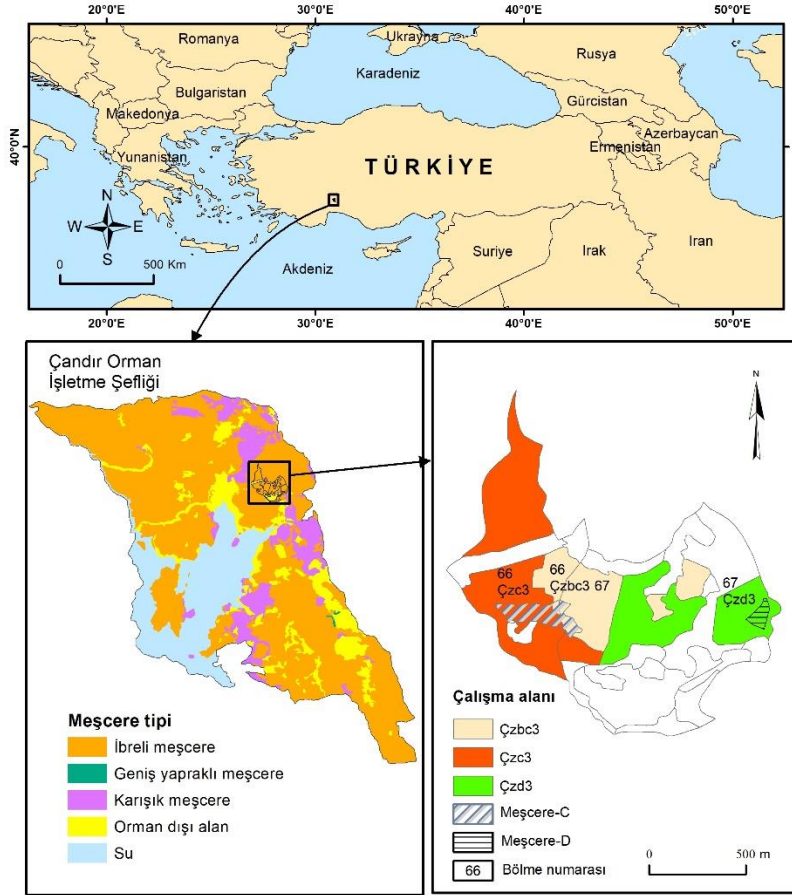
Bu çalışmada İHA'nın taşıdığı görünür dalga boyundaki ışığı algılayan bir kamera yardımıyla alınan hava fotoğrafları üzerinde yapılan ölçümlerle, kesilmiş haldeki kızılçam ağaçlarının kabuklu gövde hacimlerinin tahmini amaçlanmıştır. Hava fotoğraflarındaki kızılçam ağaçlarının çap ve boyları nokta bulutu ve ortomozaik (Goodbody vd., 2017) veriler üzerinde ölçülmüş ve elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak çeşitli yöntemlerle ağaçların kabuklu gövde hacim tahminleri yapılmıştır. Hava fotoğraflarındaki ölçümlere dayalı bulunan ağaç gövde hacim değerleri, yersel ölçümlere dayalı bulunan hacimlerle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

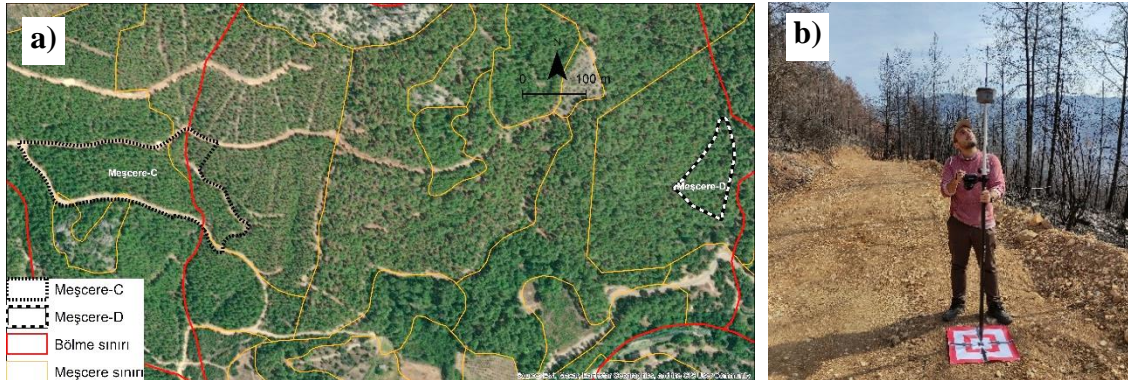
2.1. Çalışma alanı ve kullanılan veriler

Çalışma alanı, Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Sütçüler Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Çandır Orman İşletme Şefliği idari sınırları içinde bulunmaktadır (Şekil 1). Çandır Orman İşletme Şefliği 10348.4 ha yüzölçümüne sahip olup, bölgedeki en düşük rakım 248 metre ve en yüksek rakım ise 1877 metredir (USGS, 2022). Çandır Orman İşletme Şefliği idari sınırlarındaki arazi örtüsü sınıflarının alansal dağılımları incelendiğinde %76.2'sinin (7883.4 ha) orman alanı olduğu görülmektedir. Çandır Orman İşletme Şefliği orman alanlarında yayılış gösteren ağaç türlerinin oransal dağılımı, % 91.8 kızılçam, % 5.8 ardıç, %1.9 karaçam, % 0.2 fıstıkçamı, % 0.2 sedir ve % 0.1 saçlı meşe şeklindedir. Bu bölgede kızılçam ağaç türünün odun üretiminde önemli bir payının olduğu anlaşılmaktadır (IOBM, 2021). Kızılçam Akdeniz Bölgesinde 0-1500 m yükseltiye kadar geniş yayılış alanlarına sahip önemli bir ağaç türüdür (Çoban ve Çoşgun, 2020). Hızlı gelişen bir tür olması nedeniyle de ekonomik açıdan değerlidir ve bölgede yoğun bir kızılçam üretimi yapılmaktadır. Ayrıca arazi çalışmalarından kısa süre önce yangından zarar gören bölgede, çok sayıda kızılçam meşceresinin boşaltılacak olması ve kesim ekiplerinin sahada bulunması nedeniyle çalışmanın odağında kızılçam yer almıştır.

Çandır Orman İşletme Şefliği idari sınırları içerisinde bulunan kızılçam meşcereleri içerisinde 2 farklı çalışma alanı belirlenmiştir (Şekil 2). Bu çalışma alanları belirlenirken ağaçların farklı çap ve boy özelliklerine sahip olmalarına dikkat edilmiştir. Çalışma alanlarından ilki çoğunluğu 66 numaralı bölme sınırları içinde olan, göğüs yüksekliğindeki (dipten 1.30 m yükseklikteki çapı, $d_{1.3}$) çapları 8-36 cm aralığında ve %70'ten fazla toprağı gölgeleme oranına sahip kapalılığı barındıran kızılçam meşcerelerini simgeleyen 'Çzbc3, Çzc3' ve çok küçük bir kısmı da kapalılığı %10'un altında ve yer yer taşlık açıklıklara sahip kızılçam meşceresini simgeleyen 'BÇz-T' alanlarını kapsamaktadır. Bu alan 'Meşcere-C' olarak anılacaktır. İkinci çalışma alanının tamamı 67 numaralı bölme sınırları içerisindeki ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları 36-52 cm aralığında ve %70'ten fazla toprağı gölgeleme oranına sahip kapalılığı barındıran kızılçam meşcerelerini simgeleyen 'Çzd3' meşceresidir (IOBM, 2021). Bu alan da 'Meşcere-D' olarak anılacaktır. Çalışma alanları birbirine komşu bölme sınırları içerisinde bulunmalarına rağmen komşu değildir. Meşcere-C 3.2 ha, Meşcere-D ise 0.76 ha büyüklüğe sahiptir. Meşcere-C'de en düşük rakım 355 m, en yüksek rakım ise 420 metredir. Meşcere-D ise en düşük 322 m ve en yüksek 371 m rakıma sahiptir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu



Şekil 2. a) Meşcere-C ve Meşcere-D çalışma alanları (IOBM, 2021; Google Earth, 2022), b) Yer kontrol noktası ve koordinat belirleme

Bu çalışmada 2018 yılının ilk çeyreğinde DJI markası tarafından piyasaya sürülen Air modeli İHA kullanılmıştır. Söz konusu İHA'nın uçuş ağırlığı 430 gram olup dahili 8 GB depolama alanına sahiptir. Maksimum 21 dakika uçuş süresi sağlayan İHA, GPS ve GLONASS küresel konumlandırma sistemlerine sahiptir. CMOS türünde ve 1/2.3 inç algılayıcıya sahip olan kamerası 12 MP (Megapiksel) çözünürlük, 2.8 diyafram açıklığı ve 85° görüş açısı sunmaktadır (DJI, 2018). Harici yazılımlar yardımıyla fotogrametrik amaçlı (bindirmeli) hava fotoğrafı alımları yapmaya yetecek asgari şartları sağlayan bu İHA, pratik kullanımı, taşıma kolaylığı

ve uygun maliyeti gibi nedenlerle bu çalışmada tercih edilmiştir.

Fotogrametrik ürünler üzerinde gerçekleştirilecek hassas çalışmalar için yer kontrol noktası (YKN) kullanımının gerekli olduğu (Ruzgiene vd., 2015; Stöcker vd., 2017) ve YKN kullanılan verilerden elde edilen ağaç çap ve boy ölçümlerinin arazide gerçekleştirilen ölçümlere daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Durgun vd., 2022b). Bu nedenle İHA ile alınan hava fotoğraflarının işlenmesiyle elde edilecek ürünlerin konumsal doğruluğunun iyileştirilmesi için araziye 50x50 cm boyutlarındaki brandaya işaretlenmiş

YKN'ler tesis edilmiş ve TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı-Aktif) uyumlu GPS (Küresel Konum Belirleme Sistemi) yardımıyla ölçülmüştür. Çalışmada South markasının Galaxy G6 modeli GPS kullanılmış olup bu GPS santimetre hassasiyetinde konum belirleme yeteneğine sahiptir (South, 2022).

Bu çalışmada, arazi karnelerinin hazırlanması, arazi verilerinin işlenmesi, çeşitli tanımlayıcı istatistiklerin hesaplanması gibi işler için Microsoft Ofis yazılımları kullanılmıştır (Microsoft, 2022). Çalışmada konumsal analizlerin yapılması, kesilmiş haldeki ağaçların çap ve boy ölçümleri ve harita üretimi gibi amaçlar için bir CBS yazılımı olan ArcGIS (v10.6) kullanılmıştır (ArcGIS, 2022). Çalışmada İHA'dan elde edilen hava fotoğraflarının işlenmesi, geometrik düzeltmelerin yapılması ve kesilmiş ağaçların çap ve boylarının ölçülmesi amacıyla Pix4d Mapper fotogrametri yazılımı kullanılmıştır (Pix4d, 2022). Çalışmadan elde edilen sayısal verilerin çeşitli istatistiksel testlerle değerlendirilmesi ve istatistiksel raporların üretilmesi amacıyla bir istatistik yazılımı olan IBM SPSS v26 yazılımı kullanılmıştır (IBM, 2022). Arazi çalışmalarında İHA'nın fotogrametrik alım şartlarına uygun olarak otomatik uçuşunu sağlamak adına ise ücretsiz erişime açık ve mobil bir uygulama olan Pix4d Capture yazılımı kullanılmıştır (Pix4d, 2022). Çalışma alanındaki topoğrafyanın sayısal yükseklik modeli (SYM) için 30x30 m piksel boyutlarında yüzey yükselti değerlerine sahip SRTM-1 radar uydu verilerinden yararlanılmıştır (Çoban ve Eker, 2009; Çoban vd., 2021; USGS, 2022).

2.2. Yöntem

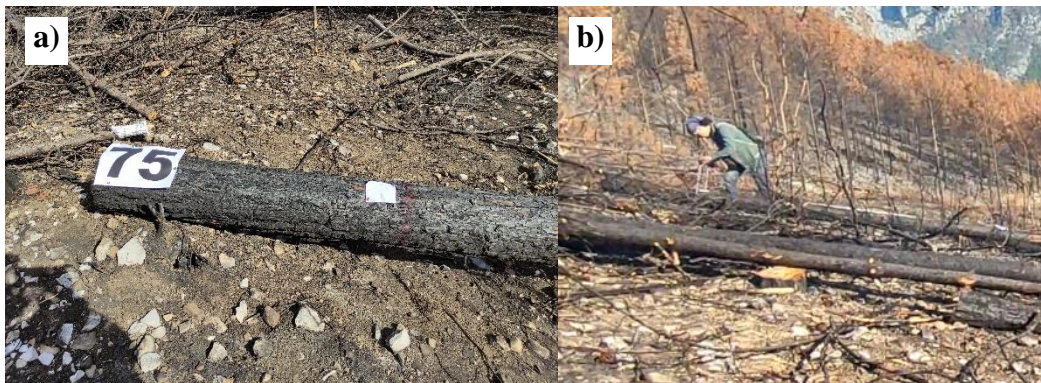
2.2.1. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmalarında öncelikle kesilmiş halde bulunan, çap ve boy ölçümü yapılacak kızılçam ağaçları işaretlenmiştir. İHA ile yapılan deneme uçuşlarında, uçuş yüksekliğine bağlı olarak yaklaşık 1.5-2 cm boyutlarındaki bir objenin hava fotoğraflarında görülebilir olduğu anlaşılmıştır. Arazide kesilmiş halde bulunan ağaçların

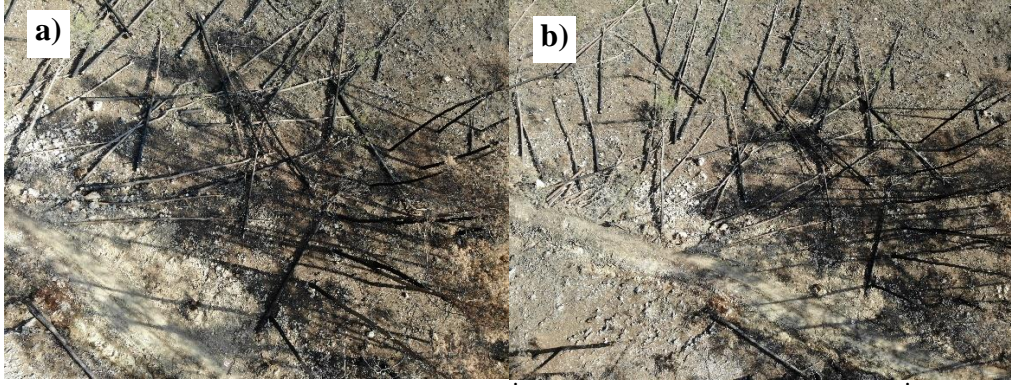
numaralandırılması için İHA fotoğraflarında görülebilecek büyüklükte yazılmış rakamların bulunduğu A4 kağıtlar, raptiye ile ağaç gövdelerinin dip kısmına (d_0), dipten 1 m uzağa (d_1) ve gövde bitimine (d_{son}) sabitlenmiştir. İşaretlenen ağaçların tam boyu şerit metre yardımıyla ölçülmüştür. Boy ölçümünden sonra şerit metre kaldırılmadan çap ölçüm işlemine geçilmiş, gövdenin 0 metredeki dip çapından başlayıp 1 m ve sonrasında iki metrede bir gövdenin uç kısmına kadar çapları bir çap ölçeği yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3). Çap ölçümleri sırasında çap ölçeği gövdeye dik bir şekilde tutulmuş ve hassas ölçümler yapılmıştır. Arazide yapılan ölçümler sonrasında elde edilen çap ve boy değerleri bu çalışmada referans veri olarak kabul edilmiştir.

Arazide Meşcere-C'de 150 ve Meşcere-D'de 25 olmak üzere toplam 175 ağacın ölçümü yapılmıştır. Meşcerelerde farklı çaplara sahip olan ağaçlar rastgele seçilmiştir. Ancak birbirlerinin üzerine düşmüş hem yersel hem de fotoğraflar üzerinde çap ve/veya boy ölçümünün yapılamayacağı ağaçlar seçilmemiştir. Ağaç çap ve boy ölçümlerinin ardından YKN'ler çalışma alanlarının kenarlarına dağıtılarak homojen bir şekilde tesis edilmiş, tesis edilen YKN'lerin koordinatları TUSAGA-Aktif uyumlu GPS ile TUREF (Türkiye Ulusal Referans Sistemi) koordinat sisteminde ölçülmüştür.

Arazideki ölçümler tamamlandıktan sonra İHA uçuş planları yapılmış ve uçulmuştur. Uçuşlar planlanırken Meşcere-C ve Meşcere-D alanında iki farklı yer örnekleme aralığında (YÖA) veri elde edilmesi amaçlanmıştır. Uçuş yüksekliği belirlenirken çalışma alanındaki kot farkı, İHA'nın şeritler arası geçiş yaparken üzerinden dönüş yapacağı komşu meşcerelerdeki topoğrafik yapı ve o meşcerelerde dikili halde bulunan ağaçların boyları dikkate alınmıştır. Yapılan test uçuşlarının sonuçlarına göre Meşcere-C için 45 m ve 55 m, Meşcere-D için 38 m ve 52 m uçuş yüksekliği belirlenmiştir (Şekil 4). Buna göre hava fotoğrafların YÖA değerleri Meşcere-C için 1.5 cm ve 1.95 cm, Meşcere-D için 1.66 cm ve 2.14 cm olmuştur. Yapılan uçuşların tümünde fotoğraf alımları için %80 bindirme oranı, 4.75 m/sn uçuş hızı ve 90° kamera açısı kullanılmıştır (Çizelge 1).



Şekil 3. a) Ağaç numaraları, b) Gövde çapı ölçümü



Şekil 4. Meşcere-D alanında a) 38m irtifadan alınan İHA fotoğrafı, b) 52m irtifadan alınan İHA fotoğrafı

Çizelge 1. İHA uçuşlarının özellikleri

Çalışma alanı	Uçuş numarası	Uçuş yüksekliği (m)	Uçuş süresi (dk)	Uçuş mesafesi (m)
Meşcere-C	C1	45	14	2370
Meşcere-C	C2	55	11	2007
Meşcere-D	D1	38	7	887
Meşcere-D	D2	52	4	714

2.2.2. Hava fotoğraflarının işlenmesi ve hacim tahminleri

Arazide elde edilen İHA fotoğrafları yazılım fotogrametrisiyle işlenmiştir. Bindirmeli olarak alınmış ardışık hava fotoğraflarından Hareket ile Nesne Oluşturma (Structure from Motion; SfM) yöntemi ile yüksek çözünürlüklü nokta bulutu, SYM ve ortomozaik verilerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir. SfM yöntemi, İHA ile elde edilmiş hava fotoğraflarının meta verisini kullanarak konumlarını düzenlemekte, fotoğraflarda bulunan aynı objelerin eşleştirilmesini sağlamaktadır. Fotoğraflarda eşleştirilen objeler ile öncelikle az yoğun nokta bulutu (x, y ve z koordinat bilgisine sahip renklendirilmiş noktalar) üretilmekte ve az yoğun nokta bulutu verisindeki noktaların artırılmasıyla yoğunlaştırılmış nokta bulutu üretimi gerçekleştirilmektedir. Yoğunlaştırılmış nokta bulutu üzerinde ise sayısal yükseklik modeli ve birleştirilmiş hava fotoğraflarının koordinatlandırılmasıyla elde edilen ortomozaik üretimleri gerçekleştirilebilmektedir (Snavely vd., 2007; Akay vd., 2019).

Çalışmada düşük ve yüksek YÖA'nın ölçüm sonuçlarına etkisini araştırmak amacıyla her iki çalışma alanında da iki farklı uçuş yüksekliğinde uçulmuştur. Çalışma alanlarının eğimli olması ve kullanılan İHA'nın topoğrafik şekle göre uçuş yüksekliğini düzeltme özelliği olmaması nedeniyle hedeflenen 1.5 cm ve 2 cm YÖA yerine Meşcere-C alanında 1.5 cm ve 1.95 cm, Meşcere-D alanında ise 1.66 ve 2.14 cm YÖA değerlerine sahip fotogrametrik veriler elde edilebilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Üretilen veri setlerinin özellikleri

Uçuş numarası	Yer örnekleme aralığı (cm)	Kullanılan yer kontrol noktası sayısı	RMSE* (cm)
C1	1.5	5	2.6
C2	1.95	6	2.6
D1	1.66	5	1.5
D2	2.14	4	1.3

*RMSE: Root Mean Square Error

Ortomozaik ve nokta bulutu üretiminin ardından görüntülerde ölçülecek ağaç gövdeleri tespit edilmiş, çap ve boy ölçümleri yapılmıştır. Çap ve boy ölçümleri için önceden belirlenen, çap ve boyları bilinen beş test ağacı üzerinde çap ve boy ölçümleri yapılarak operatörün kabiliyeti geliştirilmiştir. Ağaç çap ve boyları ölçülürken arazi çalışmaları sırasında ağaç gövdelerine (d_0 , $d_{1.3}$ ve d_{son}) yerleştirilen kâğıt işaretlerden faydalanılmıştır. Çap ve boy ölçümleri sırasında ağaç gövdesine mümkün olduğunca yaklaşılmış, görüntüdeki renk değişimine bağlı olarak ortalama yansıtma değerine sahip olduğu düşünülen (hem arazi hem de gövde rengini yansıttığı düşünülen) geçiş pikseli/noktaları tıklanarak ölçümler hassas bir şekilde yapılmıştır. Operatörün görüntü üzerinde ağaçların çap ve boyunu ölçerken referans çap ve boy değerlerinden bağımsız karar vermesi sağlanmıştır.

Nokta bulutu üzerinde Pix4d Mapper, ortomozaik üzerinde ArcGIS programlarıyla ağaçların çap ve boy ölçümleri yapılmıştır. Ağaçların çap ve boyları ikişer kez ölçülmüş ve ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınmıştır. Nokta bulutu üzerinde yapılan ölçümler 3 boyutlu olup x, y ve z koordinatlarını kullanmakta yani yükseklik bilgisi de işlenmektedir. Bu ölçümlerde çoklu doğru fonksiyonu kullanılmış ve tamamlanan ölçümler "objeler" katmanında saklanmıştır. Yapılan her işaretleme daha sonra "özellikler" penceresi kullanılarak İHA fotoğrafları üzerinde hassas bir şekilde işaretlenmiştir. Ortomozaik üzerinde yapılan ölçümler ise 2 boyutlu olup, x ve y koordinatlarını kullanmakta yani yükseklik bilgisi işlenmemektedir. Bu ölçümler, coğrafi veri tabanı içerisinde "çizgi" veri sınıfı katmanı üzerinde oluşturulmuş ve saklanmıştır. Ölçümlerin tamamlanmasıyla Meşcere-C ve Meşcere-D için iki farklı yer örnekleme aralığına ait veriler elde edilmiştir. Sonuçlar MS Excel'e aktarılmış ve İHA fotoğraflarından elde edilen çap ve boy değerleri ile Tek Girişli Ağaç Hacim Tablosu (TGAHT) ve Çift Girişli Ağaç Hacim Tablosu (ÇGAHT) kullanılarak gövde hacim tahminleri yapılmıştır.

Yersel ölçmelerden elde edilen çap ve boy değerleri de bu hacim tabloları kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca hacim tahminlerinde daha doğru bir tahmin yöntemi olarak kabul edilen Seksiyonlara Ayırma Yöntemi (SAY) de kullanılmıştır. TGAHT olarak Çandır Orman İşletme Şefliği amenajman planında (IOBM, 2021) bulunan hacim tablosu kullanılmıştır. Bu tablo 4 santimetrelik göğüs çapı kademelerine bağlı olarak ağaç hacmini m^3 cinsinden vermektedir. Bu tabloda ağaç hacimleri belirlenirken ağaç çapına uygun çap kademesine karşılık gelen hacim değeri her bir ağaç için bulunmuş ve tabloya aktarılmıştır. ÇGAHT

olarak ise Alemdağ (1962) tarafından yayınlanan hacim tablosu kullanılmıştır. Söz konusu tablo ağacın çap ve boyuna bağlı olarak hacmi dm^3 cinsinden vermektedir.

Meşçere hacminin tahmini için önerilen SAY'da yuvarlak odun hacim formülü olan Smalian formülü (1) kullanılmıştır. Seksiyon uçlarındaki yüzeyler ortalamasının seksiyon uzunluğu ile çarpılmasıyla hacim değerini veren bu formülün (Kalıpsız, 1984) kısa gövde parçalarının parabolit ve silindirik şekillerine benzemesinden dolayı pratikte uygun sonuçlar verdiği belirtilmektedir (Diker, 1946). Bu nedenle SAY'da Smalian formülü tercih edilmiş, arazide ölçülen kızılcım gövdeleri için hacim tahminleri yapılmıştır.

$$V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_0^2 + d_n^2}{2} \right) l \quad (1)$$

V = Tomruk hacmi (cm^3)

d_0 = Kalın uçtaki tomruk çapı (cm)

d_n = İnce uçtaki tomruk çapı (cm)

l = Tomruk boyu (cm)

İHA fotoğraflarından üretilen fotogrametrik veriler üzerinde yapılan çap ve boy ölçümleri ile bu verilere bağlı tahmin edilen hacimler, referans veri olarak kabul edilen yerel ölçüm verilerine dayanarak yapılan karşılıklarıyla kıyaslanmıştır. İHA fotoğraflarından ve referans verilerden elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin yönü ve şiddeti Pearson korelasyon analizi ile incelenmiştir. Ayrıca veriler arasındaki farkları ortaya koymak için Bağımlı Örneklem T-Testi yapılmıştır. İstatistiksel veriler yardımıyla İHA'nın ağaç çap ve boy ölçümündeki başarısı, YÖA'nın etkisi ve İHA fotoğrafları üzerinde yapılan ağaç hacim tahminleri değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve tartışma

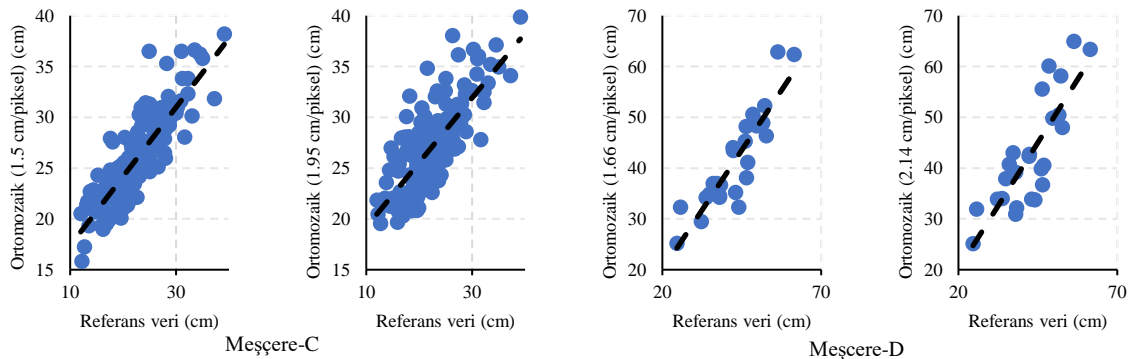
Ortomozaik veri üzerindeki çap ölçümleri ile referans verilere ait tanımlayıcı istatistik bilgileri Çizelge 3'te verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde yüksek YÖA değerlerine sahip ortomozaik veri üzerinde yapılan çap ölçümlerinin düşük YÖA'na sahip verilerdeki ölçümlere kıyasla referans veri ile daha güçlü bir korelasyona sahip oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 5). Bu durum YÖA'nın çap ölçümleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir (Kılınçoğlu, 2016). Bunun yanında Meşçere-D alanındaki gövdelerde, Meşçere-C'dekilere kıyasla daha güçlü bir korelasyon değeri bulunmuştur. Bu sonucun büyük çaplı ağaçların fotoğraflar üzerinde daha kolay seçilmesine, çap ya da boy başlangıç ve son noktalarının daha doğru tespit edilebilmesine bağlı olduğu söylenebilir. Ayrıca çalışmadaki tüm ölçüm ve hacim tahminlerinde çarpıklık-basıklık değerlerinin 1.5 ile -1.5 arasında olması ise ölçüm sonuçlarının normal bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir (Tabachnick ve Fidell, 2013).

Nokta bulutundaki çap ölçümleri ve referans veriye ait tanımlayıcı istatistik bilgiler Çizelge 4'te verilmiştir. Meşçere-C ve Meşçere-D için iki farklı YÖA'da ölçülen verilerle referans verilerin korelasyonunda küçük farklılıklar görülmektedir. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde çap ölçümlerinin nokta bulutu üzerinde başarılı bir şekilde yapılabileceğini ortaya koymaktadır (Şekil 6).

Ortomozaik ve nokta bulutu verilerinden elde edilen çap ölçüm değerleri ile referans veri arasındaki ilişkinin sorgulanması için Bağımlı Örneklem T-Testi uygulanmıştır (Çizelge 5). Sonuçlar incelendiğinde ortomozaik veriler üzerinde Meşçere-D'deki gövdelerde yapılan çap ölçümlerinin referans veri ile aralarında anlamlı bir farklılık görülmezken diğer tüm ölçüm sonuçlarının referans veri ile aralarında anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür (%95 güven düzeyinde $p < 0.05$). Meşçere-D'de yapılan çap ölçümlerinin Meşçere-C'de yapılan ölçümlere kıyasla daha başarılı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. Ortomozaik verideki çap ölçümlerine ait tanımlayıcı istatistikler

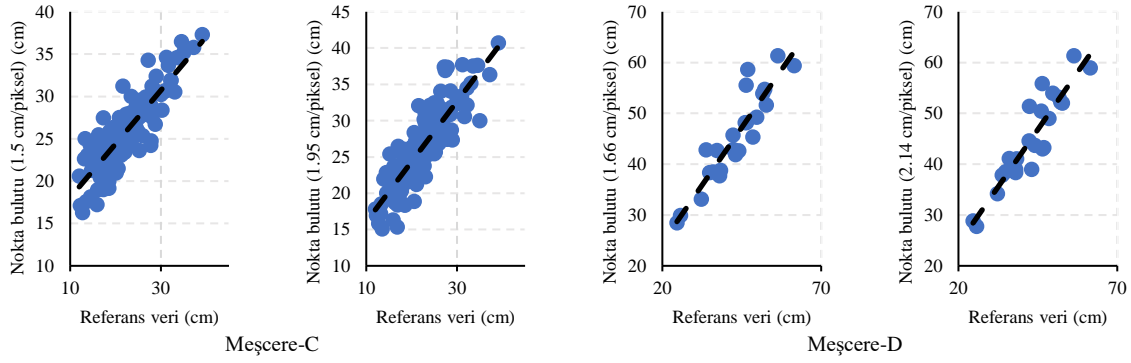
	Referans veri (cm)	Ortomozaik (1.5 cm/piksel)	Ortomozaik (1.95 cm/piksel)	Referans veri (cm)	Ortomozaik (1.66 cm/piksel)	Ortomozaik (2.14 cm/piksel)
Ortalama	22.40	25.81	27.08	42.72	41.37	42.75
Standart sapma	5.32	4.26	4.35	9.03	9.52	10.88
En büyük	39.10	38.18	39.86	61.50	62.82	64.91
En küçük	12.00	15.83	19.53	24.60	25.18	25.10
Korelasyon katsayısı	-	0.851	0.778	-	0.894	0.824
Birey sayısı	Meşçere-C (n=150)			Meşçere-D (n=25)		



Şekil 5. Ortomozaik verilerdeki çap ölçümlerinin referans veriyle ilişkisi

Çizelge 4. Nokta bulutu verisindeki çap ölçümlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Referans veri (cm)	Nokta bulutu (1.5 cm/piksel)	Nokta bulutu (1.95 cm/piksel)	Referans veri (cm)	Nokta bulutu (1.66 cm/piksel)	Nokta bulutu (2.14 cm/piksel)
Ortalama	22.40	25.92	26.35	42.72	45.15	44.77
Standart sapma	5.32	3.90	5.12	9.03	8.94	8.81
En büyük	39.10	37.31	40.72	61.50	61.36	61.35
En küçük	12.00	16.29	15.12	24.60	28.48	27.82
Korelasyon katsayısı	-	0.863	0.861	-	0.916	0.924
Birey sayısı		Meşcere-C (n=150)			Meşcere-D (n=25)	



Şekil 6. Nokta bulutu verilerindeki çap ölçümlerinin referans veriyle ilişkisi

Çizelge 5. Çap ölçüm sonuçlarına ait bağımlı örneklem t-testi sonuçları

Referans veri ile ilişkilendirilen	Çalışma alanı	Eşleştirilmiş farklılıklar					t	df*	Sig.**
		Ortalama	Standart sapma	S. sapma hata ort.	Farkın %95 güven aralığı				
					En düşük	En yüksek			
Ortomozaik (1.5 cm/piksel)	Meşcere-C	-3.41	2.81	0.23	-3.86	-2.95	-14.87	149	0.000
Ortomozaik (1.95 cm/piksel)	Meşcere-C	-4.68	3.35	0.27	-5.22	-4.14	-17.11	149	0.000
Ortomozaik (1.66 cm/piksel)	Meşcere-D	1.35	4.29	0.86	-0.42	3.12	1.58	24	0.128
Ortomozaik (2.14 cm/piksel)	Meşcere-D	-0.03	6.16	1.23	-2.57	2.52	-0.02	24	0.983
Nokta bulutu (1.5 cm/piksel)	Meşcere-C	-3.52	2.77	0.23	-3.96	-3.07	-15.53	149	0.000
Nokta bulutu (1.95 cm/piksel)	Meşcere-C	-3.94	2.76	0.22	-4.39	-3.50	-17.53	149	0.000
Nokta bulutu (1.66 cm/piksel)	Meşcere-D	-2.43	3.68	0.74	-3.94	-0.91	-3.30	24	0.003
Nokta bulutu (2.14 cm/piksel)	Meşcere-D	-2.05	3.48	0.70	-3.48	-0.61	-2.94	24	0.007

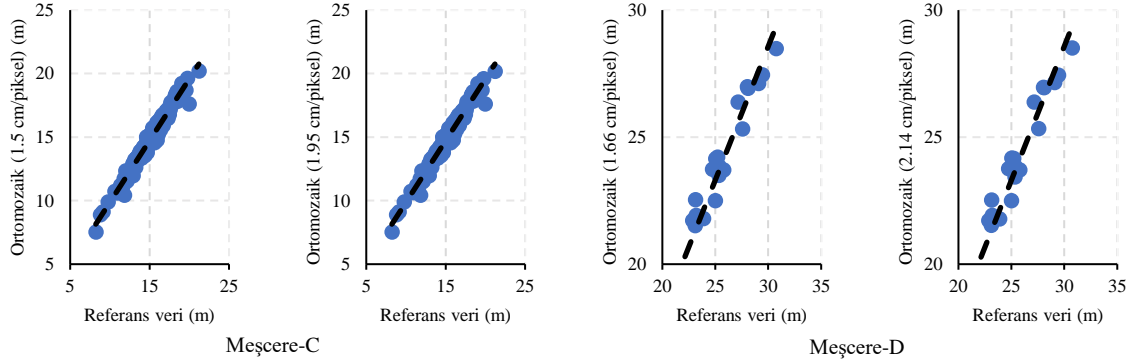
*df: serbestlik derecesi, **Sig.: anlamlılık

Ortomozaik ve nokta bulutu üzerinde yapılan boy ölçümleri ve referans veriye ait tanımlayıcı istatistik bilgileri Çizelge 6 ve 7'de verilmiştir. Ortomozaik veriler üzerinde yapılan boy ölçümlerinin birbirlerine ve referans veriye oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu nedenle referans veriyle güçlü bir korelasyon göstermektedirler. Bu durum çalışmada farklı YÖA değerlerinin ağaç gövde boyu ölçümlerinde çok etkili olmadığını göstermektedir. Buna göre, ortomozaik veriler üzerinde boy ölçümlerinin başarılı bir şekilde yapılabilirdiği söylenebilir (Şekil 7). Çizelge 7'de nokta bulutu üzerinde yapılan boy ölçümlerinin ortomozaik veridekinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmekte ve referans veriyle güçlü bir korelasyonunun bulunduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8).

Ortomozaik ve nokta bulutu verilerinden elde edilen boy ölçüm değerleri ile referans veri arasındaki ilişkinin sorgulanması için Bağımlı Örneklem T-Testi uygulanmıştır (Çizelge 8). Bağımlı Örneklem T-Testi sonuçları incelendiğinde, nokta bulutu üzerinde yapılmış boy ölçüm sonuçları ile referans veri arasında anlamlı bir farklılık görülmemiştir (%95 güven düzeyinde $p>0.05$). Bunun yanında ortomozaik veri üzerinde yapılan tüm ölçüm sonuçlarının referans veri ile aralarında anlamlı bir farklılık bulunduğu anlaşılmaktadır (%95 güven düzeyinde $p<0.05$). Buna göre, boy ölçümünde nokta bulutundan elde edilen sonuçların ortomozaikten elde edilen sonuçlara göre daha başarılı olduğu, referans veriye daha yakın sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Bu durumun nokta bulutunda yapılan ölçümlerde yükseklik değeri (z koordinatları) kullanılırken ortomozaikte yapılan ölçümlerde kullanılmıyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 6. Ortomozaik verideki boy ölçümlerine ait tanımlayıcı istatistikler

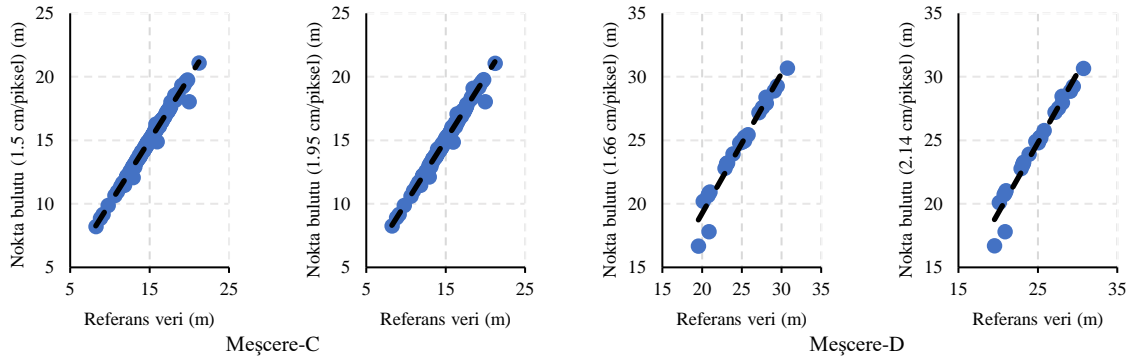
	Referans veri (m)	Ortomozaik (1.5 cm/piksel)	Ortomozaik (1.95 cm/piksel)	Referans veri (m)	Ortomozaik (1.66 cm/piksel)	Ortomozaik (2.14 cm/piksel)
Ortalama	15.07	14.80	14.80	24.63	22.92	22.91
Standart sapma	2.22	2.19	2.19	3.13	3.42	3.43
En büyük	21.20	20.20	20.19	30.75	28.49	28.51
En küçük	8.23	7.55	7.55	19.54	15.82	15.82
Korelasyon katsayısı	-	0.986	0.986	-	0.963	0.964
Birey sayısı		Meşcere-C (n=150)			Meşcere-D (n=25)	



Şekil 7. Ortomozaik verilerdeki boy ölçümlerinin referans veriyle ilişkisi

Çizelge 7. Nokta bulutundaki boy ölçümlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Referans veri (m)	Nokta bulutu (1.5 cm/piksel)	Nokta bulutu (1.95 cm/piksel)	Referans veri (m)	Nokta bulutu (1.66 cm/piksel)	Nokta bulutu (2.14 cm/piksel)
Ortalama	15.07	15.08	15.10	24.63	24.35	24.39
Standart sapma	2.22	2.22	2.22	3.13	3.53	3.54
En büyük	21.20	21.09	21.08	30.75	30.70	30.67
En küçük	8.23	8.21	8.28	19.54	16.67	16.70
Korelasyon katsayısı	-	0.995	0.995	-	0.977	0.977
Birey sayısı		Meşcere-C (n=150)			Meşcere-D (n=25)	



Şekil 8. Nokta bulutu verilerindeki boy ölçümlerinin referans veriyle ilişkisi

Çalışmada elde edilen çap ve boy değerlerinden TGAHT ve ÇGAHT kullanılarak hacim tahminleri gerçekleştirilmiştir. SAY ise yalnızca araziden elde edilen ölçümler için kullanılmıştır. Yersel ölçümlere dayalı hacim tahmini yapılmış ve tanımlayıcı istatistikleri belirlenmiştir (Çizelge 9). Seksiyon yöntemi sonuçlarına en yakın değerlerin ve en güçlü korelasyonun ÇGAHT'den elde edildiği görülmektedir (Şekil 9).

Kızılcım gövdelerinin farklı YÖA olan ortomozaikler üzerinde yapılan çap ölçümlerine bağlı TGAHT kullanılarak yapılan hacim tahminlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 10'da verilmiştir. Burada küçük YÖA'na sahip ortomozaiklerden elde edilen hacim değerlerinin her iki çalışma alanı için de referans veri ile daha güçlü korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda YÖA'nın TGAHT'ye dayalı olarak gerçekleştirilecek ağaç hacim tahminlerinde önemli bir etken olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 10).

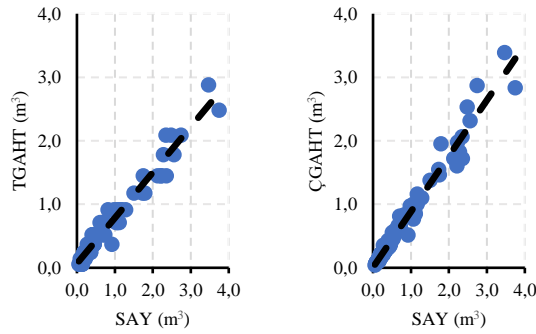
Çizelge 8. Boy ölçüm sonuçlarına ait bağımlı örneklem t-testi sonuçları

Referans veri ile ilişkilendirilen	Çalışma alanı	Eşleştirilmiş farklılıklar					t	df*	Sig.**
		Ortalama	Standart sapma	Standart sapma hata ort.	Farkın %95 güven aralığı				
					En düşük	En yüksek			
Ortomozaik (1.5 cm/piksel)	Meşçere-C	0.27	0.37	0.03	0.21	0.33	9.18	149	0.000
Ortomozaik (1.95 cm/piksel)	Meşçere-C	0.27	0.37	0.03	0.21	0.33	9.14	149	0.000
Ortomozaik (1.66 cm/piksel)	Meşçere-D	1.71	0.93	0.19	1.33	2.10	9.17	24	0.000
Ortomozaik (2.14 cm/piksel)	Meşçere-D	1.72	0.93	0.19	1.33	2.10	9.20	24	0.000
Nokta bulutu (1.5 cm/piksel)	Meşçere-C	-0.01	0.21	0.02	-0.04	0.03	-0.23	149	0.786
Nokta bulutu (1.95 cm/piksel)	Meşçere-C	-0.03	0.23	0.02	-0.07	0.00	-1.73	149	0.086
Nokta bulutu (1.66 cm/piksel)	Meşçere-D	0.28	0.82	0.16	-0.06	0.62	1.71	24	0.101
Nokta bulutu (2.14 cm/piksel)	Meşçere-D	0.24	0.82	0.16	-0.10	0.58	1.48	24	0.151

*df: serbestlik derecesi, **Sig.: anlamlılık

Çizelge 9. Arazi ölçümlerinden elde edilen hacim tahmin değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler (birey sayısı 175)

	Seksiyonlu hacim (m ³)	Tek girişli tablo hacmi (m ³)	Çift girişli tablo hacmi (m ³)
Ortalama	0.530	0.440	0.470
Standart sapma	0.630	0.460	0.560
En büyük	3.750	2.880	3.390
En küçük	0.050	0.050	0.040
Korelasyon katsayısı	-	0.979	0.987



Şekil 9. Arazi ölçümlerinden elde edilen hacim tahminlerinin SAY değerleriyle ilişkisi

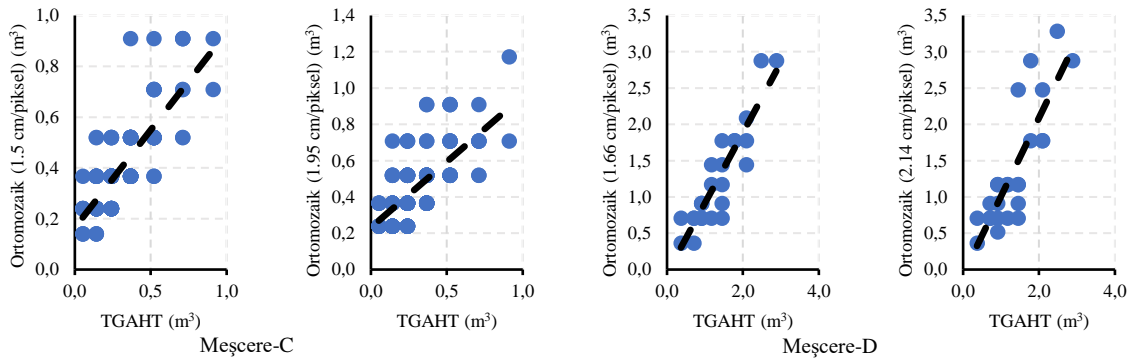
Çizelge 10. Ortomozaik verilerden TGAHT'ye dayalı bulunan hacim tahmin değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	TGAHT referans hacim (m ³)	Ortomozaik (1.5 cm/piksel)	Ortomozaik (1.95 cm/piksel)	TGAHT referans hacim (m ³)	Ortomozaik (1.66 cm/piksel)	Ortomozaik (2.14 cm/piksel)
Ortalama	0.30	0.39	0.45	1.33	1.24	1.37
Standart sapma	0.17	0.17	0.18	0.64	0.69	0.83
En büyük	0.91	0.91	1.17	2.88	2.88	3.28
En küçük	0.05	0.14	0.24	0.37	0.37	0.37
Korelasyon katsayısı	-	0.79	0.70	-	0.90	0.84
Birey sayısı		Meşçere-C (n=150)			Meşçere-D (n=25)	

Nokta bulutu verilerinde gerçekleştirilen çap ölçümlerine bağlı TGAHT kullanılarak bulunan hacim tahmin değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 11'de verilmiştir. Burada Meşçere-D alanı için yapılan ölçümlerin Meşçere-C alanındakilere göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Nokta bulutu verilerine dayalı bulunan hacim tahminlerinin ortomozaik verilerine göre referans veriye daha yakın olduğu bulunmuştur (Şekil 11).

ÇGAHT kullanılarak bulunan hacim tahmin değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Çizelge 12 ve Çizelge 13'te verilmiştir. Çizelge 12'de yer örnekleme aralığı küçük ortomozaiklerden elde edilen hacim değerlerinin referans

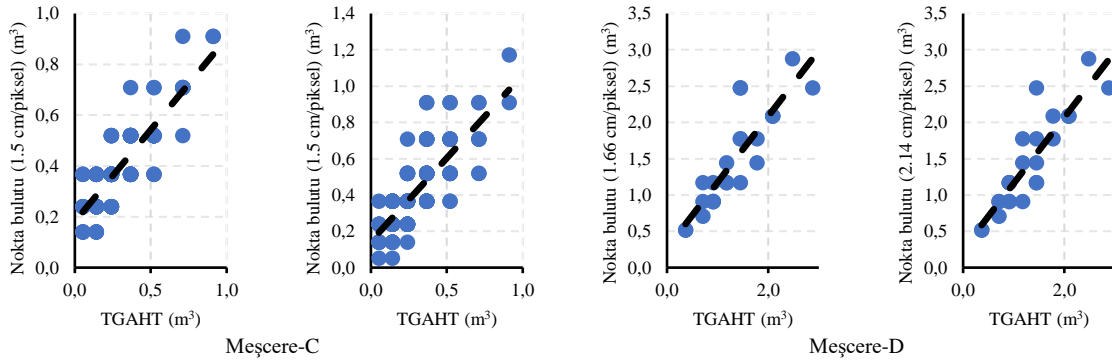
veri ile daha güçlü bir korelasyona sahip olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 12). Nokta bulutu verilerinden yapılan hacim tahmin değerlerinde YÖA'nın etkisi neredeyse hissedilmemektedir (Çizelge 13). Bu iki yöntemin sonuçlarını değerlendirdiğimizde, nokta bulutu verilerinden elde edilen hacim değerlerinin ortomozaik veriye göre referans veriye korelasyonu daha yüksek bulunmuştur (Şekil 13).



Şekil 10. Ortomozaik ve yersel verilerden TGAHT'ye dayalı olarak tahmin edilen hacimlerin ilişkisi

Çizelge 11. Nokta bulutu verilerinden TGAHT'ye dayalı bulunan hacim tahmin değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

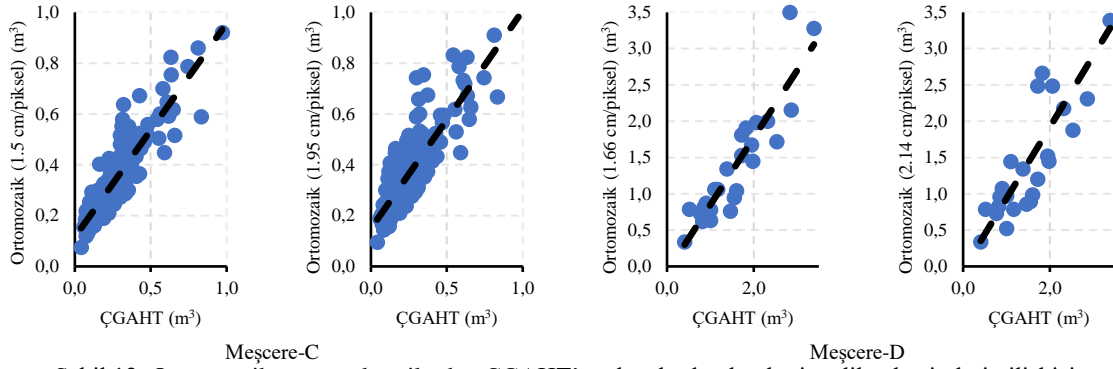
	TGAHT referans hacim (m ³)	Nokta bulutu (1.5 cm/piksel)	Nokta bulutu (1.95 cm/piksel)	TGAHT referans hacim (m ³)	Nokta bulutu (1.66 cm/piksel)	Nokta bulutu (2.14 cm/piksel)
Ortalama	0.30	0.40	0.42	1.33	1.48	1.46
Standart sapma	0.17	0.15	0.20	0.64	0.67	0.65
En büyük	0.91	0.91	1.17	2.88	2.88	2.88
En küçük	0.05	0.14	0.05	0.37	0.52	0.52
Korelasyon katsayısı	-	0.83	0.79	-	0.87	0.89
Birey sayısı		Meşcere-C (n=150)			Meşcere-D (n=25)	



Şekil 11. Nokta bulutu ve yersel verilerden TGAHT'ye dayalı olarak tahmin edilen hacimlerin ilişkisi

Çizelge 12. Ortomozaik verilerden ÇGAHT'ye dayalı bulunan hacim tahmin değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

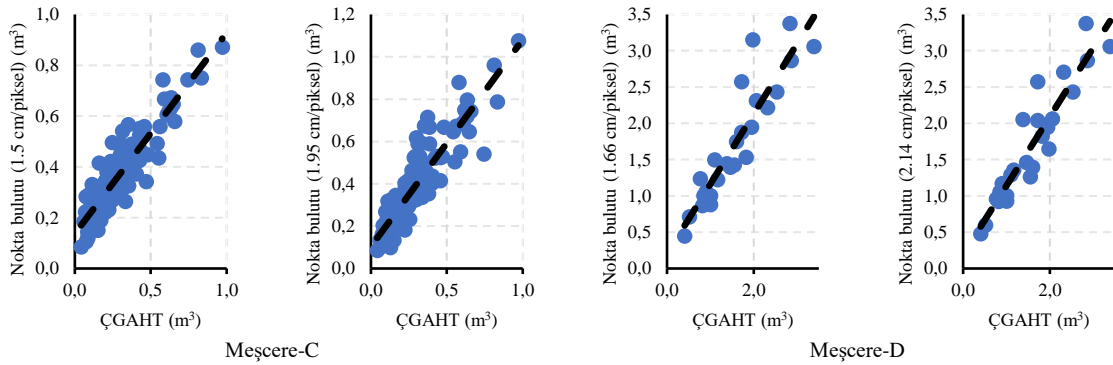
	ÇGAHT referans hacim (m ³)	Ortomozaik (1.5 cm/piksel)	Ortomozaik (1.95 cm/piksel)	ÇGAHT referans hacim (m ³)	Ortomozaik (1.66 cm/piksel)	Ortomozaik (2.14 cm/piksel)
Ortalama	0.28	0.35	0.39	1.59	1.39	1.51
Standart sapma	0.17	0.16	0.17	0.78	0.79	0.90
En büyük	0.97	0.92	1.02	3.39	3.50	3.73
En küçük	0.04	0.08	0.10	0.41	0.34	0.34
Korelasyon katsayısı	-	0.89	0.85	-	0.91	0.85
Birey sayısı		Meşcere-C (n=150)			Meşcere-D (n=25)	



Şekil 12. Ortomozaik ve yersel verilerden ÇGAHT'ye dayalı olarak tahmin edilen hacimlerin ilişkisi

Çizelge 13. Nokta bulutu verilerinden ÇGAHT'ye dayalı bulunan hacim tahmin değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	ÇGAHT referans hacim (m ³)	Nokta bulutu (1.5 cm/piksel)	Nokta bulutu (1.95 cm/piksel)	ÇGAHT referans hacim (m ³)	Nokta bulutu (1.66 cm/piksel)	Nokta bulutu (2.14 cm/piksel)
Ortalama	0.28	0.36	0.38	1.59	1.73	1.70
Standart sapma	0.17	0.14	0.18	0.78	0.82	0.79
En büyük	0.97	0.87	1.08	3.39	3.38	3.38
En küçük	0.04	0.09	0.09	0.41	0.45	0.48
Korelasyon katsayısı	-	0.92	0.90	-	0.91	0.93
Birey sayısı	Meşçere-C (n=150)			Meşçere-D (n=25)		



Şekil 13. Nokta bulutu ve yersel verilerden ÇGAHT'ye dayalı olarak tahmin edilen hacimlerin ilişkisi

İHA diğer uzaktan algılama platformlarına göre daha pratik, daha uygun maliyetli ve daha hassas veri üretimine olanak sağlayan bir teknoloji olarak nitelendirilmektedir (Buğday, 2019; Zhou vd., 2019; Liu vd., 2021). Günümüzde İHA'ların hacim hesaplama (Raeva vd., 2016; Urban vd., 2020), uzunluk ölçümü (Krause vd., 2019; Yin ve Wang, 2019) ya da objelerin otomatik tespitinde (Nevalainen vd., 2017; Kabadayı ve Uysal, 2020; Ceylan ve Uysal, 2021) başarıyla kullanıldığı açıklanmıştır. İHA fotogrametrisiyle bir nesnenin hacminin hesaplanmasında fotoğrafların yer örnekleme aralığı küçüldükçe gerçeğe daha yakın sonuçların elde edilebileceği, bunun yanında nokta bulutu verisinden alınan verilerin yersel ölçümlere daha yakın olduğu belirtilmektedir (Akay vd., 2019). İHA'nın ağaç boylarının belirlenmesinde 0.94 korelasyon değeri gösterdiği (Birdal, 2016), bireysel ağaç tespiti konusunda İHA'dan üretilen ortomozaik kullanılarak %85'ten daha yüksek bir başarı yakalandığı (Mohan vd., 2017) ve buğday bitkisinin boyunun ölçülmesinde 0.94'lük korelasyon değerine ulaşıldığı açıklanmıştır (Sönmez vd., 2021). Ayrıca ibrelî ormanlarda kesim sonrası İHA görüntülerine dayalı hacim tahmini üzerine yapılan bir çalışmada araştırmacılar (Zhou vd., 2019) İHA teknolojisinin uzaktan algılama aracı olarak kullanılabilmesiyle ağaç gövde hacim tahminlerinin yapılabileceğini, İHA verilerinden otomatik tahminlerin

yapılmasıyla arazi çalışmalarının büyük ölçüde azalacağını ve böylece zaman ve maliyetten tasarruf edilebileceğini vurgulamışlardır. İHA'dan elde edilen sayısal modellerin kullanımıyla dendrometrik değişkenlerin tahminine yönelik yapılan bir çalışmada ise tepe taç çapı için %18.4, ağaç yüksekliği için %11 ve hacim için %8.7 ortalama hata oranıyla sonuçların elde edildiği bildirilmiş ve biyometrik özelliklerin doğruluğunun, çalışma alanının yapısına ve üretilen sayısal modellerin kalitesine bağlı olduğu vurgulanmıştır (Tudoran, 2021). Bu çalışmada literatürde söz edildiği gibi İHA'ların pratik kullanım olanaklarının olduğu öne çıkmış, İHA fotogrametrisiyle ağaçların çap ve boylarının gerçeğe yakın olarak ölçülebileceği ve bu veriler kullanılarak gövde hacim tahminlerinin yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışmadan elde edilen bulgular doğrultusunda İHA'nın ağaç çap ve boy ölçümleri gibi hassas çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılabildiği, elde edilen değerler yardımıyla TGAHT ve ÇGAHT kullanılarak yapılan hacim tahminlerinin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği görülmektedir. Çalışmada İHA fotoğraflarından üretilecek verilerde yer örnekleme aralığının önemli olduğu sonucu

ortaya çıkmıştır. İHA fotoğrafları üzerinde yapılan ağaç boyu ölçümlerinde çap ölçümlerinden daha başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu bağlamda fotoğraflarda ölçümü yapılacak uzunluğun artmasıyla birlikte olası hata payının sonuçlara yansıyan olumsuz etkisinin zayıfladığı söylenebilir. Genel olarak çap ve boy ölçümlerinde ortomozaik veriye göre nokta bulutundan elde edilen değerlerin yersel ölçümlerle daha güçlü bir korelasyon gösterdiği anlaşılmıştır.

İHA verileri ve yersel ölçümler arasında çap ölçümünde 0.924 ve boy ölçümünde ise 0.99'lük korelasyon elde edilmiştir. Ağaç gövde hacim sonuçlarına göre yersel ölçümlerle yapılan karşılaştırmalarda TGAHT'ye dayalı hacim tahmininde 0.87 ve ÇGAHT'ye dayalı hacim tahmininde 0.93'lük korelasyon değeri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, İHA fotoğrafları üzerindeki ölçmelerin kesilmiş kızılçam ağaç gövde hacimlerinin tahmini çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılabilirliğini, böylece İHA uzaktan algılama veri ve yöntemlerini tercih etmenin arazi çalışmalarının yükünü hafifleterek iş gücü, para ve zamandan tasarruf sağlanabileceğini ortaya koymaktadır.

Açıklama

Bu çalışmayı 2021-YL1-0137 no'lu proje ile destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne teşekkür ederiz. Bu makale, ISUBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Hakan DURGUN'un yaptığı Yüksek Lisans tezinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Arazi çalışmalarındaki yardımları nedeniyle Orman Mühendisleri A. Cankut GÖZ, Erhan ERTAN ve Aytekin SARIŞAHİN'e, Çandır Orman İşletme Şefi İbrahim GÜLMEZ'e ve Orman Muhafaza Memuru Semih SARAC'a teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akay, A.E., Şakar, D., 2009. Yangın sahasına en kısa sürede ulaşımı sağlayan optimum güzergahın belirlenmesinde CBS tabanlı karar destekleme sisteminin kullanılması. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.
- Akay, S.S., Özcan, O., Şanlı, F.B., Bayram, B., Görüm, T., 2019. İHA görüntülerinden üretilen verilerin doğruluk değerlendirmesi. X. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği Teknik Sempozyumu, 25-27 Nisan, Aksaray, s. 106-110.
- Alemdağ, Ş., 1962. Türkiye'deki Kızılçam Ormanlarının Gelişimi, Hasılat ve Amenajman Esasları. Ormanlık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- Alkan, O., Özçelik, R., 2021. Toros göknarı için uyumlu hacim ve gövde çapı modelleri. Turkish Journal of Forestry, 22(4): 408-416.
- ArcGIS, 2022. ArcGIS Online, <https://www.arcgis.com/index.html> Erişim: 08.04.2022.
- Balcı, İ., Çoban, H.O., Eker, M., 2000. Coğrafi bilgi sistemi. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 1(A): 115-132.
- Birdal, A.C., 2016. Ağaç yüksekliklerinin belirlenmesinde insansız hava araçlarının kullanımı: Eskişehir kent ormanı örneği. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Buğday, E., 2016. Ormanlıkta üretimin planlaması ve hassas ormancılık anlayışı. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 2(1-2): 54-57.
- Buğday, E., 2019. Orman yönetiminde insansız hava aracı uygulamaları. II. International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences, 28-29 Haziran, Ankara, s. 1617-1621.
- Carus, S., 2002. Bazı hacim formüllerinin seksiyon, gövde ve bağlı uzunluklara göre kıyaslanması. Turkish Journal of Forestry, 3(1): 101-114.

- Ceylan, M.C., Uysal, M., 2021. İnsansız hava aracı ile elde edilen veriler yardımıyla ağaç çıkarımı. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 3(1): 15-21.
- Çoban, H.O., Coşgun, S., 2020. The role of topography in the spatial distribution of tree species in the Mediterranean Region of Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 29(3): 1369-1378.
- Çoban, H.O., Eker, M., 2009. SRTM verileri ile bazı topoğrafik analizler: Isparta Orman Bölge Müdürlüğü örneği. SDÜ Orman Fakültesi Dergisi, 2(A): 76-91.
- Çoban, H.O., Eker, M., Durgun, H., 2021. Relations between topographic variables and forest ecosystems in Isparta Regional Directorate of Forestry. International Conferences on Science and Technology (ICONST LST'21), September 8-10, Budva, pp. 4.
- Çoban, H.O., Erdin, C., 2020. Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak Forest Enterprise, Turkey. Applied Ecology and Environmental Research, 18(1): 1567-1583.
- Diker, M., 1946. Orman Amenajman Bilgisi. Yüksek Ziraat Enstitüsü Yayını, No: 270, Ankara.
- DJI, 2018. Mavic Air User Manual Online, <https://dl.djicdn.com/downloads>, Erişim: 10.04.2022.
- Durgun, H., Eker, M., Çoban, H.O., 2022a. Odunsu biyokütle envanter çalışmalarında İHA fotogrametrisinin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi. 5th International Conferences on Science and Technology, September 7-9, Budva, pp. 72-80.
- Durgun, H., Çoban, H.O., Eker, M., 2022b. İHA görüntülerinin geometrik düzeltmesinin ağaç çap ve boy ölçümlerine etkileri. 5th International Conferences on Science and Technology, September 7-9, Budva, pp. 59-71.
- Eker, M., Özer, D., 2015. Üretim işlerinde hassas ormancılık yaklaşımı: Kavramsal çerçeve. Türkiye Ormanlık Dergisi, 16(2): 183-194.
- Goodbody, T.R., Coops, N.C., Marshall, P.L., Tompalski, P., Crawford, P., 2017. Unmanned aerial systems for precision forest inventory purposes: A review and case study. The Forestry Chronicle, 93(1): 71-81.
- Google Earth, 2022. Google Earth Online, <https://earth.google.com/web>, Erişim: 10.04.2022.
- IBM, 2022. IBM Online, <https://www.ibm.com/tr-tr/products/spss-statistics>, Erişim: 08.04.2022.
- IOBM, 2021. Çandır Orman İşletme Şefliği 2021 Yılı Orman Amenajman Planı. Isparta Orman Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- Kabadayı, A., Uysal, M., 2020. Çok yüksek çözünürlüklü İHA verilerinden bina tespiti. Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 2(2): 43-48.
- Kalıpsız, A., 1984. Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Kılınçoğlu, D.B., 2016. Farklı insansız hava araçları ile elde edilen görüntülerin otomatik fotogrametrik yöntemlerle değerlendirilmesi ve doğruluk analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koç, A., 1993. Coğrafi bilgi sisteminde veriler ve elde edilmiş yöntemleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, 43(1-2): 117-134.
- Krause, S., Sanders, T.G., Mund, J.P., Greve, K., 2019. UAV-based photogrammetric tree height measurement for intensive forest monitoring. Remote Sensing, 11(7): 758.
- Lim, Y.S., Park, J.S., Pyeon, M.W., Kim, J., 2015. Calculation of tree height and canopy crown from drone images using segmentation. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 33(6): 605-613.
- Liu, T., Sun, Y., Wang, C., Zhang, Y., Qiu, Z., Gong, W., Duan, X., 2021. Unmanned aerial vehicle and artificial intelligence revolutionizing efficient and precision sustainable forest management. Journal of Cleaner Production, 311: 127546.
- Messinger, M., Asner, G.P., Silman, M., 2016. Rapid assessments of amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems. Remote Sensing, 8(8): 615.
- Microsoft, 2022. Microsoft Online, <https://www.microsoft.com/tr-tr/microsoft-365/> Erişim: 08.04.2022.

- Mohan, M., Silva, C.A., Klauber, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., Dia, M., 2017. Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. *Forests*, 8(9): 340.
- Morales, G., Kemper, G., Sevillano, G., Arteaga, D., Ortega, I., Telles, J., 2018. Automatic segmentation of *Mauritia flexuosa* in unmanned aerial vehicle (UAV) imagery using deep learning. *Forests*, 9(12): 736.
- Nevalainen, O., Honkavaara, E., Tuominen, S., Viljanen, N., Hakala, T., Yu, X., Tommaselli, A.M., 2017. Individual tree detection and classification with UAV-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging. *Remote Sensing*, 9(3): 185.
- Pix4d, 2022. Pix4d Online, <https://www.pix4d.com/> Erişim: 08.04.2022.
- Raeva, P.L., Filipova, S.L., Filipov, D.G., 2016. Volume computation of a stockpile: A study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 41: 999.
- Ruzgiene, B., Berteška, T., Gečyte, S., Jakubauskienė, E., Aksamitauskas, V.Č., 2015. The surface modelling based on UAV photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement*, 73: 619–627.
- Seki, M., Tiryakioğlu, I., Uysal, M., 2017. Farklı veri toplama yöntemleriyle yapılan hacim hesaplarının karşılaştırılması. *Geomatik*, 2(2): 106-111.
- Snavely, N., Seitz, S.M., Szeliski, R., 2007. Modeling the world from internet photo collections. *International Journal of Computer Vision*, 80(2): 189–210.
- South, 2022. Galaxy G6 measuring system user manual online. <https://globalgpssystems.com/wp-content/uploads/2020/03/Galaxy-G6-Measuring-System-User-Manual.pdf>, Erişim: 08.04.2022.
- Sönmez, N.K., Çoşlu, M., Demir, N., 2021. Farklı insansız hava araçlarından (İHA) elde edilen veriler ile buğday bitkisinin boyunun belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 34(2): 195-203.
- Stöcker, C., Nex, F., Koeva, M., Gerke, M., 2017. Quality assessment of combined IMU/GNSS data for direct georeferencing in the context of UAV- based mapping. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42: 355–361.
- Tabachnick, B.G., Fidell, L.S., 2013. *Using Multivariate Statistics*. 6th Edition, Allyn and Bacon, Boston, USA.
- Tudoran, G.M., Dobre, A.C., Cicşa, A., Pascu, I.S., 2021. Development of mathematical models for the estimation of dendrometric variables based on unmanned aerial vehicle optical data: A romanian case study. *Forests*, 12(2): 200.
- Urban, R., Štroner, M., Kuric, I., 2020. The use of onboard UAV GNSS navigation data for area and volume calculation. *Acta Montanistica Slovaca*, 25(3): 361-374.
- USGS, 2022. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Data Download. United States Geological Survey, <https://earthexplorer.usgs.gov/> Erişim: 18.05.2022.
- Yin, D., Wang, L., 2019. Individual mangrove tree measurement using UAV-based LiDAR data: Possibilities and challenges. *Remote Sensing of Environment*, 223: 34-49.
- Yomraloğlu, T., 2000. *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Seçil Ofset Basımevi, İstanbul.
- Yurtseven, H., Akgül, M., Demir, M., Öztürk, T., Gülci, S., 2015. İHA verileri üzerinden ibrelili meşcelerde obje tabanlı sınıflandırma teknikleri ile ağaç bireyi bazında verilerin elde edilmesi. IV. Orman İnşaatı-Transportu ve Teknolojileri Çalıştayı ve Üretim İşlerinde Hassas Ormanlık Sempozyumu, 6 Mayıs- 4 Haziran, Kastamonu, s. 35-45.
- Zhou, X., He, Y., Huang, H., Xu, X., 2019. Estimation of forest stand volume on coniferous forest cutting area based on two periods unmanned aerial vehicle images. *Scientia Silvae Sinicae*, 55(11): 117-125.