



Kentsel planlama ve çevresel izleme için fotogrametri tabanlı ağaç modelleme

Abdurahman Yasin Yiğit ^{1*}, Ali Ulvi ^{1,2}

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, 33110, Mersin, Türkiye

²Mersin Üniversitesi, Deniz Araştırmaları ile Hidrografik Ölçmeler ve İnsansız Deniz-Hava Sistemleri Uygulama ve Araştırma Merkezi, 33110, Mersin, Türkiye

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 02/01/2025

Kabul Tarihi: 11/04/2025

<https://doi.org/10.53516/ajfr.1611711>

*Corresponding author:

abdurahmanyasinyigit@gmail.com

ÖZ

Araştırma Makalesi

Giriş ve Amaçlar Ağaçların fiziksel özelliklerinin doğru ve detaylı bir şekilde belgelenmesi; karbon emilimi, çevresel analizler ve sürdürülebilir şehir planlaması açısından büyük önem taşımaktadır. Geleneksel ölçüm yöntemlerinin zaman alıcı ve maliyetli olması, mobil cihazlarla gerçekleştirilen dijital tekniklerin alternatif bir çözüm olarak değerlendirilmesine neden olmuştur. Bu çalışmanın amacı, düşük maliyetli fotogrametri teknikleri kullanılarak tek bir ağacın üç boyutlu (3B) modelini üretmek ve bu model üzerinden metrik doğruluk analizleri gerçekleştirmektir.

Yöntemler Çalışma, Mersin Üniversitesi kampüsünde konumlanan tek bir ağaç örneği üzerinde yürütülmüştür. Mobil cihaz ile toplam 95 adet fotoğraf çekilmiş; bu görüntüler Agisoft Metashape yazılımı ile Hareketten Yapı (Structure from Motion/SfM) algoritması temelinde işlenerek 3B model üretilmiştir. Modelin ölçeklendirilmesi ve doğruluk analizleri için total-station verileri kullanılmış; koordinat ve uzunluk ölçümleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bulgular Doğruluk analizinde koordinat verileri için karesel ortalama hata (KOH) 0,022 m, uzunluk verileri için ise 0,0667 m olarak hesaplanmıştır. Ağaç yüksekliği model üzerinden 3,58 m olarak ölçülmüş ve manuel ölçümle yalnızca 6,71 cm fark tespit edilmiştir. Gövde çapı ölçümlerinde ise ortalama fark 8 mm düzeyindedir. Model, ince dallar gibi karmaşık alanlarda sınırlı başarı gösterse de gövde gibi daha yalın yapılarda yüksek doğruluk sağlamıştır.

Sonuçlar Elde edilen sonuçlar, mobil cihazlarla gerçekleştirilen fotogrametri tabanlı 3B modelleme yönteminin; düşük maliyetli, erişilebilir ve oldukça hassas bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Bu yöntem, ormancılık envanteri, kentsel yeşil alan yönetimi ve çevresel izleme gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılabilir. Çalışma, fotogrametri tekniklerinin geleneksel yöntemlere güçlü bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağaç ölçümleri, sürdürülebilir ormancılık, kentsel ekosistem yönetimi, 3B veri, fotogrametri, hareketten yapı

Effects of some varnishes on the thermal conductivity properties of wood based panels

ABSTRACT

Background and Aims Accurate and detailed documentation of the physical characteristics of trees is of great importance for carbon absorption, environmental analysis, and sustainable urban planning. The time-consuming and costly nature of traditional measurement methods has led to the consideration of digital techniques using mobile devices as an alternative solution. This study aims to generate a three-dimensional (3D) model of a single tree using low-cost photogrammetry techniques and to perform metric accuracy analyses based on this model.

Methods The study was conducted on a single tree specimen located on the campus of Mersin University. A total of 95 photographs were taken using a mobile device, and these images were processed in Agisoft Metashape software using the Structure from Motion (SfM) algorithm to generate a 3D model. For model scaling and accuracy analysis, total station data were utilized, and coordinate and length measurements were evaluated comparatively.

Results The root mean square error (RMSE) was calculated as 0.022 m for coordinate data and 0.0667 m for length measurements. The height of the tree was measured as 3.58 m based on the model, with only a 6.71 cm difference from the manual measurement. The average deviation in trunk diameter measurements was determined to be 8 mm. Although the model showed limited performance in complex regions such as fine branches, it achieved high accuracy in more uniform structures such as the trunk.

Conclusions The results demonstrate that photogrammetry-based 3D modeling using mobile devices offers a low-cost, accessible, and highly accurate solution. This method can be effectively applied in various fields such as forest inventory, urban green space management, and environmental monitoring. The study highlights that photogrammetry techniques provide a strong alternative to traditional measurement methods.

Key Words: Tree measurements, sustainable forestry, urban ecosystem management, 3D data, photogrammetry, structure from motion

Bu makaleye atıf:

Yiğit, A.Y., Ulvi, A., 2025. Kentsel planlama ve çevresel izleme için fotogrametri tabanlı ağaç modelleme. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(1), 60-71.



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International Licence.

1. Giriş

Ağaçlar, ekosistemlerin sürdürülebilirliği ve çevresel dengenin korunmasında hayati bir rol oynamaktadır (Vinceti et al., 2013; Majeed and Abaas, 2023). Karbon emilimi, oksijen üretimi, biyolojik çeşitlilik için habitat sağlama ve gölge gibi faydalarıyla, yaşam kalitemizi doğrudan etkileyen doğal varlıklardır (Temiz Topsakal ve Sağlık, 2024). Bununla birlikte, artan kentleşme ve iklim değişikliği gibi küresel tehditler, ağaçların ekosistem üzerindeki hayati rollerini tehdit etmektedir (Balaban ve ark., 2021). Bu bağlamda, ağaçların fiziksel özelliklerinin doğru ve detaylı bir şekilde belgelenmesi, korunmaları ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmeleri gereklidir (Lindenmayer and Laurance, 2017).

Ağaçların fiziksel özelliklerinin ölçülmesi ve modellenmesi, çevresel analizlerin temel taşıdır (Greve et al., 2012; Lin and Wiegand, 2021). Ancak, geleneksel yöntemlerle ağaç boyu, gövde çapı ve hacim gibi parametrelerin ölçülmesi genellikle zaman alıcı, maliyetli ve hata payı yüksek bir süreçtir (Durrieu et al., 2024). Akarsu (2019), orman kaynakları envanterinde bilgi toplamak için yararlanılan yersel ölçümler oldukça zaman alıcı ve külfetli olduğundan bahsetmiştir. Ayrıca orman envanteri parametrelerinden en önemlilerinden birinin de ağaç boyu olduğu vurgulanmıştır. Bu zorluklar ve kısıtlamalar, ormancılık uygulamaları ve şehir planlaması gibi alanlarda veri doğruluğunu sınırlandırmaktadır. Örneğin, ölçüm sırasında ağaçların tepe ve dip kısımlarının net bir şekilde gözlemlenememesi, ölçüm hassasiyetini düşüren temel bir sorundur. Ayrıca, her ağacın fiziksel ölçümünün yapılması hem iş gücü hem de zaman açısından uygulanabilir bir çözüm olmaktan uzaktır (Fassnacht et al., 2016).

Ölçüm sırasında karşılaşılan zorluklar, genellikle ağaçların doğal yapılarına bağlı olarak tepe ve dip kısımlarının net bir şekilde gözlemlenememesinden kaynaklanır (Freschet and ark., 2021; Lin et al., 2021). Bu durum, özellikle ormancılık uygulamalarında ve şehir planlamasında kullanılan verilerin doğruluğunu sınırlandırmaktadır. Bu sorunlar, teknolojinin sunduğu yeni araç ve tekniklerin araştırılmasını gerektirmektedir (Nitoslawski et al., 2021). Sen ve Day (2005), ortaya koydukları çalışmada, doğanın en önemli unsurlarından biri olan ağaçları, bazı teknikler kullanılarak modellenmiştir. Mevcut yöntemlerin bazıları ortaya çıkış sırasına göre tanımlanmıştır. Ağaçların, biyolojik ve geometrik yapıları göz önüne alınarak önce gövde ve dallanmaları ardından yaprakları modellenerek ağaçların gerçeğine en yakın bir şekilde modellenmesi gerçekleştirilmişler ve ağaçların üç boyutlu (3B) modellenmesinin önemini vurgulamışlardır. Dai ve Lyuu (2010), gerçekleştirdikleri çalışmada, ağaçların fotoğraf veri seti analizi ile 3B ağaç modellemesini esas alan ve ağacın iskeletini, yapraklarını ve formunu en uygun bir şekilde oluşturmayı amaçlayan farklı bir yaklaşımı ortaya koymuşlardır. Yapılan çalışma doğrultusunda ağaçların 3B modellerinin kullanılarak ölçümü zor olan ağaç parametrelerinin daha kolay elde edilebileceği görülmektedir.

Günümüzde dijital teknolojilerin gelişimiyle birlikte, fotogrametri tekniği ve Hareket ile Yapısal Algılama (Structure from Motion/SfM) gibi algoritmalar, gibi algoritmalar, bu tür zorlukların üstesinden gelmek için güçlü alternatifler sunmaktadır (Deliry and Avdan, 2021; Gülcü et al., 2023). Fotogrametri, üst üste bindirilen iki boyutlu (2B) görüntülerden 3B modeller üretmek için ekonomik, hızlı ve güvenilir bir yöntemdir (Jiang and ark., 2021; Gruen, 2021; Marín-Buzón et

al., 2021). Bu teknik, ağaçların karmaşık yapısını detaylı bir şekilde dijital ortama aktarmakla kalmayıp, aynı zamanda zaman içerisindeki yapısal değişikliklerini izlemek ve çevresel etkileri değerlendirmek için de etkin bir araçtır (Lavaquioli et al., 2021; Fernández-Sarria et al., 2022; Estornell et al., 2024).

SfM algoritması, bir sahnenin farklı açılardan alınan fotoğraflarını analiz ederek sahnenin 3B yapısını yeniden oluşturmayı sağlar (Kaya ve ark., 2021; Gruen, 2021; Estornell et al., 2024). Bu yöntem, düşük maliyetli olması, hızlı sonuçlar sunması ve profesyonel ölçüm cihazlarına olan ihtiyacı azaltması nedeniyle son yıllarda popüler bir hale gelmiştir (Dong et al., 2021; Vgot, 2021; Yan et al., 2024). Literatürde, SfM ve fotogrametri tabanlı modelleme tekniklerinin, ağaçların biyometrik parametrelerini yüksek doğrulukla belirlemede geleneksel yöntemlere kıyasla üstün başarı gösterdiği kanıtlanmıştır (Fraser, 2021; Kaya ve Temel, 2022; Greco et al., 2023; Yan et al., 2024; Whittingham, 2024). Örneğin, Maravelakis et al. (2012), dünyanın en eski zeytin ağacı olarak bilinen Vouves Anıtsal Zeytin Ağacı'nın 3B modelini başarılı bir şekilde oluşturmuş, Uzun ve Gül (2017) ise SfM tabanlı modelleme ile ağaçların yapısal analizine yönelik önemli bulgular elde etmişlerdir.

Nesneye temas etmeden özelliklerini yeniden oluşturmayı mümkün kılan bu teknik, orman alanlarının haritalanması, bireysel ağaçların modellenmesi ve ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi gibi birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır (Morgenroth and Gómez, 2014; Miller et al., 2015; Kovanič et al., 2024). Bu yaklaşım, uzmanlık gereksinimlerini azaltarak yaygın kullanım için erişilebilir bir alternatif olarak da sunulmaktadır (Maravelakis et al., 2012; Uzun ve Gül, 2017; Şenol ve Orman, 2022).

Bu teknik, sadece ağaçların fiziksel özelliklerinin belgelenmesinde değil, aynı zamanda zaman içindeki yapısal değişikliklerinin izlenmesinde de etkilidir (Lauria et al., 2022; Kabadayı ve Erdoğan, 2022; Balestra et al., 2023). Örneğin, Uslu ve Uysal (2022), kitle kaynaklı veriler kullanılarak anıt ağaçların 3B modellenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, Flickr platformundan elde edilen fotoğraflar ve SfM tekniği kullanılarak Boab Hapishane Ağacı'nın 3B modeli başarıyla oluşturulmuştur. Literatürde, 3B modellemenin yalnızca ormancılık, şehir planlama ve koruma çabaları gibi çeşitli alanlarda değil, aynı zamanda geniş bir uygulama yelpazesi sunduğu görülmektedir (Jurado et al., 2022). Örneğin, tehdit altındaki türlerin yapısal özelliklerinin modellenmesi, bu türlerin biyolojik gereksinimlerini anlamak ve koruma stratejileri geliştirmek için değerli bilgiler sunmaktadır (de Jesus França et al., 2022). 3B modelleme teknolojilerinin özellikle ağaç boyu, gövde çapı ve hacim gibi metrik bilgilerin elde edilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanıldığı görülmektedir (Cárdenas et al., 2022; Shu et al., 2022). Ağaçların 3B modelleri ayrıca yoğun nüfuslu şehirlerde de önemli bir kullanım alanına sahiptir (Pérez-Martín et al., 2021). Şehir planlama süreçlerinde, bu modeller, ağaçların yapısal çevre üzerindeki etkilerini, gölge düzenlerini, rüzgâr dirençlerini ve karbondioksit emme kapasitelerini anlamak için kullanılabilir (liu et al., 2019). Bu sayede planlamacılar, kentsel alanlarda ağaçların doğru bir şekilde yerleştirilmesi ve korunması için bilinçli kararlar alabilir (Fernández-Sarria et al., ; Gülcü et al., 2023). Benzer şekilde, 3B modelleme, koruma çabaları kapsamında da değerli bir araçtır. Tehdit altındaki türlerin yapısı ve özelliklerini doğru bir şekilde

analiz etmek, bu türlerin biyolojik gereksinimlerini anlamak ve koruma stratejileri geliştirmek için kritik bilgiler sunmaktadır (Vogt, 2021; Greco et al., 2023). Bununla birlikte, envanter kapsamında ağaçların çap, boy, hacim gibi yapısal özelliklerinin arazide geleneksel (yersel) ölçme teknikleriyle çıkarılması oldukça masraflı ve zahmetli olmaktadır (Zeybek ve Vatandaş, 2021; Cárdenas et al., 2022). Ayrıca geleneksel ölçüm yöntemleri tek bir ağacın boyunun ölçülmesi hızlı ve zahmetsiz bir ölçüm olarak düşünülse de geleneksel ölçümlerin doğrulukları bireysel hatalara maruz kalabildiğinden gelişmiş teknolojik ölçüm yöntemlerine göre daha düşük olabilmektedir. Özellikle ormancılık uygulamalarında, her ağacın boyunun ölçülemediği, ağaç göğüs çapı ile boyu arasında kurulan modellerle bu zorluğun üstesinden gelinmeye çalışıldığı görülmektedir (Shu et al., 2022). 3B modelleme ise bu tür zorluklara karşı etkili bir alternatif sunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, mobil cihazlarla düşük maliyetli fotogrametri tekniklerini kullanarak tek bir ağacın 3B modelini oluşturmak ve bu modelden doğru metrik veriler elde etmektir. Bu yaklaşım, teknik bilgi ve profesyonel ekipman gerektirmeden geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, ekonomik ve doğru bir çözüm sunarak ormancılık envanter çalışmaları ve kentsel ekosistem analizleri gibi alanlarda uygulanabilirlik sağlayacaktır. Çalışma aynı zamanda, dijital teknolojilerin çevresel sorunların çözümündeki rolünü güçlendiren bir referans olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, mobil cihaz ve düşük maliyetli fotogrametri yöntemiyle bir ağacın 3B modeli oluşturulmuştur. Bu modelden, ağacın yüksekliği, çapı ve hacmi gibi metrik bilgiler doğru ve hassas bir şekilde elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, geleneksel yöntemlere kıyasla daha erişilebilir bir çözüm sunarak ormancılık envanteri ve kentsel ekosistem analizlerine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda çalışma, dijital modelleme tekniklerinin erişilebilirliğini artırmak ve bu yöntemlerin doğruluğunu değerlendirmek adına önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Gelişen teknolojilerin sunduğu bu yenilikler, gelecekte çevresel izleme ve koruma çabalarının temel bileşeni olma potansiyeline sahiptir.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışma, Türkiye'nin Akdeniz kıyısında yer alan Mersin ilinde, Mersin Üniversitesi kampüsü içinde bulunan stadyum yanı otopark alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı, 36.783962° enlem ve 34.529836° boylam koordinatlarında yer almakta olup, seyrek ağaçların bulunduğu açık bir alan niteliğindedir (Şekil 1). Alanın seçilmesindeki temel kriterler, engel ve gölgeleme etkilerinin minimum seviyede olduğu bir ortamda fotogrametrik veri toplama sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesidir. Çalışmada, tek bir ağaç yapısı belirlenerek bu ağaç üzerinde 3B modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Veri toplama süreci, günün öğle saatlerinde, doğrudan güneş ışığının maksimum seviyede olduğu ve gölge etkisinin minimum olduğu koşullarda tamamlanmıştır. Seçilen ağaç, geniş gövde çapına ve simetrik bir tepe yapısına sahip olup, fotogrametrik modelleme sürecinde ideal bir örnek teşkil etmektedir. Çalışma alanına ait görsel bilgilerin sunulduğu Şekil 1'de, ağacın bulunduğu konum, çalışma alanının genel topoğrafyası ve Mersin Üniversitesi kampüsü içindeki yeri detaylı olarak gösterilmektedir.

Çalışma, mobil cihazlarla çekilen fotoğrafların fotogrametrik tekniklerle işlenmesi üzerine kurulmuş olup, kullanılan materyaller ve uygulanan yöntemler detaylı bir şekilde alt başlıklarda açıklanarak çalışmanın bilimsel altyapısını oluşturan araçlar, yazılımlar ve uygulama adımları kapsamaktadır.



Şekil 1. Kullanılan ağacın konumu ve çevresel durumu

2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan temel materyaller; mobil cihaz, fotogrametri yazılımı, ölçüm ekipmanları ve bilgisayardan oluşmaktadır. Fotoğraf çekimleri, 12 MP çözünürlük ve f/1.8 diyafram açıklığına sahip bir iPhone SE ile gerçekleştirilmiştir. Mobil cihaz, taşınabilirliği ve kullanıcı dostu arayüzü sayesinde çekim sürecini kolaylaştırmış ve düşük maliyetli bir çözüm sunmuştur. Çekim sonrası işleme sürecinde, fotogrametrik işleme ve 3B modelleme için SfM algoritmasına dayanan Agisoft Metashape yazılımı (sürüm 1.8.4) (Agisoft, 2022) kullanılmıştır. Bu yazılım, görüntü hizalama, nokta bulutu oluşturma ve model dokulandırma gibi işlemleri gerçekleştirmek için tercih edilmiştir.

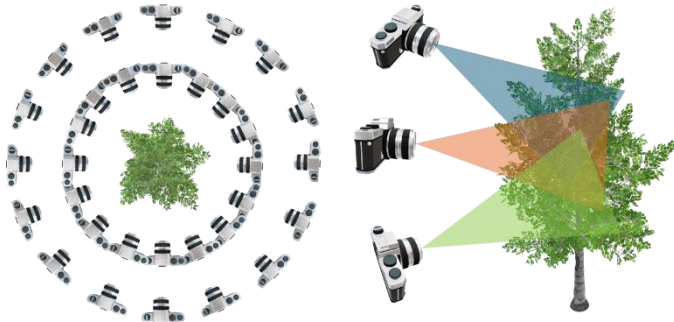
Modelin doğruluğunu test etmek ve ölçeklendirmek amacıyla özel hedef işaretleri kullanılmış ve bunlar Total-station (Ts) ile ölçülmüştür. Bu ekipmanlar, modelin ölçeklendirilmesi ve doğruluk analizinde kritik bir rol oynamıştır. Fotoğrafların işlenmesi ve 3B modelin oluşturulması için Intel Core i5 işlemcili ve 8 GB RAM'e sahip bir dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Bu donanım, yazılımın işlem gücü gereksinimlerini karşılayarak modelleme sürecinin sorunsuz bir şekilde tamamlanmasını sağlamıştır.

Modelleme yapılacak ağacın seçiminde, çevresel gürültüleri minimize etmek amacıyla seyrek ağaç toplulukları tercih edilmiştir. Bu seçim, çekim sırasında ağacın tüm yüzey detaylarının net bir şekilde kaydedilmesini sağlamıştır. Çekimler sırasında ışık koşullarının optimal olduğu öğlen saatleri tercih edilmiştir. Bu zaman dilimi, gölgeleme problemlerinin azaltılması ve ışık dağılımının homojen olması açısından ideal kabul edilmiştir. Çekim sırasında cihazın titreşiminden kaynaklanabilecek bulanıklıkların önüne geçmek için tripod kullanılmıştır. Ayrıca, ağacın gövdesine yerleştirilen hedef işaretleri, modelin ölçeklendirilmesi ve doğruluk analizinde kullanılmak üzere dikkatle konumlandırılmıştır.

2.2 Yöntem

Bu çalışmada, ağacın 3B modelini oluşturmak ve bu modelden metrik veriler elde etmek amacıyla fotogrametri tekniği kullanılmıştır. Yöntem, fotoğraf çekimi, fotogrametrik işleme ve model doğrulama olmak üzere üç ana aşamada gerçekleştirilmiştir. Her bir aşama, çalışmanın doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini sağlamak için dikkatle planlanmış ve uygulanmıştır.

İlk aşamada, hedef ağacın fotoğraf çekimleri gerçekleştirilmiştir. Çekimler sırasında, ışık koşulları ve gölgelenme durumları göz önünde bulundurularak öğlen saatleri tercih edilmiştir. Bu zaman dilimleri, gölgelenme problemlerini azaltmak ve ışığın homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak açısından ideal kabul edilmiştir. Fotoğraf çekimi sırasında, ağacın tüm yüzey detaylarının net bir şekilde kaydedilebilmesi için cihaz sabit bir açıda tutulmuş ve ağacın çevresinde 360 derece dönülerek fotoğraflar çekilmiştir (Şekil 1). Çekim sırasında, fotoğraflar arasında %60-80 oranında bindirme sağlanmasına manuel ayarlamalar ile özen gösterilmiştir. Bu bindirme oranı, fotogrametri yazılımının ortak noktaları algılamasını ve modelde boşluk oluşmamasını sağlamak için kritik bir parametre olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Ağaç fotoğrafının çekim açısı ve pozisyonu

Toplamda 95 adet fotoğraf çekilmiş ve bu süreç yaklaşık 1,5 saat sürmüştür. Çekim sırasında cihazın titreşiminden kaynaklanabilecek bulanıklıkların önüne geçmek için tripod kullanılmıştır. Ayrıca, ağacın gövdesine yerleştirilen hedef işaretleri, modelin ölçeklendirilmesi ve doğruluk analizinde kullanılmak üzere dikkatle konumlandırılmıştır.

İkinci aşamada, elde edilen fotoğraflar fotogrametri yazılımına aktarılmış ve fotogrametrik süreç başlatılmıştır. Bu süreçte SfM algoritma tabanlı fotogrametri tekniği kullanılmıştır.

SfM, farklı açılardan çekilmiş iki boyutlu görüntülerden 3B nesne veya yüzey modelleri oluşturmak için kullanılan bir bilgisayarlı görü tekniğidir (Şenol ve Orman, 2022). SfM, görüntülerde ortak noktaları belirleyerek hem kamera hareketini hem de nesnenin üç boyutlu yapısını eşzamanlı olarak tahmin eder (Hamal ve Ulvi, 2022). Geleneksel fotogrametri yöntemlerinden farklı olarak, önceden belirlenmiş bir kamera kalibrasyonu gerektirmez ve görüntüler arasındaki örtüşmeye dayalı olarak otomatik model oluşturma imkânı sunar (Kabadayı ve Erdoğan, 2023).

SfM süreci, görüntülerin işlenmesiyle başlar ve öncelikle her görüntüde ölçek-değişmez özellikler çıkarılarak ortak noktalar belirlenir (Dong et al., 2021). Bu aşamada, genellikle ölçek ve döndürme değişimlerine karşı duyarsız olan Scale-Invariant

Feature Transform (SIFT) algoritması tercih edilir (Ceylan ve Uysal, 2021; Kabadayı, 2024). Elde edilen özellik noktaları, görüntüler arasında eşleştirilerek ortak referans noktaları oluşturulur.

SfM algoritmasının ikinci aşamasında, kamera hareketi ve pozisyonları hesaplanarak görüntüler arasındaki geometrik ilişkiler belirlenir (Ulusoy ve Sevim, 2024). Kamera iç parametreleri arasında odak uzaklığı, bozulma katsayıları ve optik merkez yer alırken, dış parametreler dönüş matrisi ve öteleme vektörü olarak tanımlanır (Sinha et al., 2022). Kamera hareketi ve nesnenin 3B yapısı, epipolar geometri ilkeleri doğrultusunda hesaplanır (Uslu ve Uysal, 2022).

Kamera hareketi ve görüntüler arasındaki ilişkiler belirlendikten sonra üçgenleştirme işlemi gerçekleştirilerek seyrek nokta bulutu oluşturulur (Kabadayı ve Kaya, 2024). Bu aşamada, görüntülerde ortak görünen noktalar kullanılarak 3B koordinatlar hesaplanır. Elde edilen noktaların konumsal doğruluğu, blok dengeleme algoritması ile optimize edilir ve hatalar minimize edilir (Kum, 2022). Seyrek nokta bulutunun temizlenmesi için bağlı bileşen analizi uygulanarak gürültü filtrelenir.

SfM sürecinin bir sonraki aşamasında, yoğun nokta bulutu oluşturularak modelin detay seviyesi artırılır. Çok bakışlı stereo algoritması, farklı görüntülerde eşleşen noktaları analiz ederek üçgenleştirme yoluyla nokta yoğunluğunu artırır (Çakıroğlu, 2024). Nokta bulutu elde edildikten sonra, yüzey interpolasyonu yöntemleri kullanılarak üçgen modeli (mesh) oluşturulur. Modelin görselliğini artırmak için doku haritalama (Texture Mapping) işlemi uygulanarak görüntülerden alınan renk ve dokular yüzey modeline entegre edilir (Suwardhi et al., 2022).

SfM algoritması, geleneksel fotogrametri yöntemlerine kıyasla çeşitli avantajlar sunmaktadır. Özellikle düşük maliyetli ekipmanlarla çalışabilmesi, herhangi bir önceden tanımlanmış kamera parametresi gerektirmemesi ve büyük veri kümeleriyle otomatik olarak model oluşturabilmesi, bu yöntemi yaygın olarak tercih edilen bir teknoloji haline getirmiştir. Ancak, SfM yöntemi bazı kısıtlamalara da sahiptir. Yüksek sayıda görüntü gerektirmesi, büyük veri setlerinin işlenmesi için yüksek hesaplama gücü talep etmesi ve doku ve kontrast bakımından yetersiz yüzeylerde düşük performans göstermesi gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca, hareketli nesneler için uygun olmaması nedeniyle statik sahnelerde daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Sonuç olarak, SfM algoritması, düşük maliyetli ve esnek bir 3B modelleme yöntemi olarak birçok bilimsel ve endüstriyel alanda önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Özellikle coğrafi bilgi sistemleri, arkeoloji, ormancılık, çevresel analizler ve kentsel planlama gibi alanlarda, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı ve erişilebilir bir çözüm sunarak modelleme süreçlerini kolaylaştırmaktadır. SfM'nin sağladığı avantajlar, gelişen görüntü işleme teknikleri ile birleştiğinde, bu yöntemin ilerleyen yıllarda daha geniş bir uygulama alanına sahip olacağını göstermektedir.

İkinci aşamada yukarıda açıklandığı gibi fotogrametrik yazılım, görüntülerdeki ortak noktaları otomatik olarak tespit ederek modelin doğru bir şekilde oluşturulmasını sağlamıştır. İşleme süreci, sırasıyla görüntü hizalama, seyrek nokta bulutu oluşturma, yoğun nokta bulutu oluşturma, 3B modelleme ve dokulandırma adımlarından oluşmuştur. Görüntü hizalama aşamasında, yazılım fotoğraflar arasındaki örtüşen bölgeleri

analiz ederek fotoğrafları doğru bir şekilde hizalamış ve ağacın genel yapısını temsil eden bir seyrek nokta bulutu oluşturmuştur. Daha sonra, bu seyrek nokta bulutu yoğunlaştırılarak ağacın daha detaylı bir 3B modeli elde edilmiştir. Modelleme sürecinde, yazılımın otomatik kalibrasyon özelliği kullanılarak kameranın iç ve dış yöneltme parametreleri belirlenmiş ve modelin doğruluğu artırılmıştır. Son olarak, modelin yüzeyine dokular eklenerek görsel olarak daha gerçekçi bir 3B model elde edilmiştir.

Üçüncü ve son aşamada, modelin doğruluğu ve ölçeklendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Ağaç üzerinde belirlenen referans noktaları Şekil 3'te gösterildiği şekilde belirlenmiş ve Ts ile ölçülmüştür. Ağaç üzerine ve etrafına toplam 12 hedef belirlenmiş bunlardan 5'i dengeleme için kullanılmıştır. Ayrıca doğruluk analizi için doğal hedefler belirlenmiş ve bu noktaların oluşturduğu uzunluklar ölçülmüştür (Şekil 4).



Şekil 3. Ağaç üzerinde referans hedef kağıtları gösterimi



Şekil 4. Doğal hedef uzunlukları örnek gösterimi

Fotogrametrik dengelemede kullanılmayan 7 hedef işareti ve toplam 6 doğal hedef uzunlukları doğruluk analizinde kullanılmıştır. Modelin ölçeklendirilmesi sırasında, yazılımın referans ölçüm entegrasyon araçları kullanılmıştır. Doğruluk analizi için, ağaç gövdesi üzerinde belirli aralıklarla alınan çap ölçümleri, model üzerindeki karşılıklarıyla kıyaslanmıştır. Bu analiz sonucunda, modelin gerçek ölçümlerle uyumluluğu değerlendirilmiş ve karesel ortalama hata (KOH) Eşitlik 1 ve 2 ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada referans verisi olarak Ts verileri kabul edilmiştir. KOH değeri, modelin doğruluğunu ve yöntemin güvenilirliğini ortaya koymuştur.

Tüm süreç, fotoğraf çekiminden veri işlemesine ve model doğrulama aşamasına kadar yaklaşık 5 saat sürmüştür. Çalışma, düşük maliyetli ve erişilebilir bir yöntemle yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmesini sağlamış ve ormancılık, kentsel

planlama ve çevresel analizler gibi alanlarda uygulanabilirliğini irdelemiştir.

$$V_{x,y,z,i} = X, Y, Z_{TS_i} - X, Y, Z_{Model_i} \quad (1)$$

$$V_{x,y,z,i} = X, Y, Z_{TS_i} - X, Y, Z_{Model_i} \quad (2)$$

$$KOH_{x,y,z} = \sqrt{\frac{|v|}{n-1}} \quad (3)$$

Burada;

$V_{x,y,z,i}$, aynı noktanın farklı ölçümler sonucunda elde edilen konumsal farkını,

X, Y, Z_{TS_i} , noktanın Ts ile ölçülen koordinatlarını,

X, Y, Z_{Model_i} , noktanın 3B modelinden alınan koordinatlarını temsil etmektedir.

Çalışma da son olarak nokta bulutundaki çevresel gürültülerin (örneğin, gökyüzü ve çevredeki nesneler) temizlenmesi için çeşitli filtreleme yöntemleri uygulanmıştır. Bu süreçte, renk, yükseklik ve yoğunluk bazlı filtreleme teknikleri kullanılmıştır.

Gökyüzü gibi istenmeyen noktaların ayıklanması için renge göre seçim yapılmış, düşük yoğunluklu noktalar yoğunluk filtresiyle temizlenmiş ve belirli bir yükseklikten yukarıda kalan noktalar yükseklik bazlı filtreleme ile silinmiştir. Ayrıca, karmaşık durumlarda manuel seçim araçlarıyla nokta bulutundaki gürültüler elle temizlenmiştir.

3. Bulgular

3.1 Fotogrametrik değerlendirme

Bu çalışmada, tek bir ağacın 3B verilerinin oluşturulması için fotogrametri tekniği kullanılmış ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışma sürecinde, fotoğraf çekiminden 3B veri elde etme aşamasına kadar izlenen adımların her biri, modelin doğruluğunu ve görsel kalitesini etkileyen önemli bulgular ortaya koymuştur.

İlk olarak, fotogrametri yazılımına aktarılan 95 adet fotoğraf, yazılımın görüntü hizalama algoritması kullanılarak işlenmiştir. Bu işlem sonucunda, ağacın genel yapısını temsil eden bir seyrek nokta bulutu (Şekil 5) oluşturulmuştur. Şekil 5'te verilen seyrek nokta bulutu, ağacın temel geometrik yapısını ortaya koymuş ve modelleme sürecinin ilk aşamasını başarıyla tamamlamıştır. Ancak, bu aşamada çevresel gürültülerin (örneğin, gökyüzü ve çevredeki diğer nesneler) model üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, sonraki aşamalarda gürültü temizleme işlemlerinin gerekliliğini ortaya koymuştur.



Şekil 5. Seyrek nokta bulutu

Seyrek nokta bulutunun ardından, yazılımın yoğunlaştırma özelliği kullanılarak yoğun nokta bulutu (Şekil 6) oluşturulmuştur. Şekil 6'da verilen yoğun nokta bulutu, ağacın yüzey detaylarını daha iyi temsil eden bir veri seti sunmuş ve modelin görsel kalitesini önemli ölçüde artırmıştır. Bu aşamada, ağacın gövdesindeki detayların ve yüzey dokularının daha net bir şekilde ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Ancak, yoğun nokta bulutunda da çevresel gürültülerin etkisi devam etmiş ve bu durum, modelin görsel bütünlüğünü olumsuz yönde etkilemiştir.



Şekil 6. Filtrelenmemiş yoğun nokta bulutu

Yoğun nokta bulutunun incelenmesi sırasında, çevresel gürültülerin model üzerinde istenmeyen etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Bu gürültüler, genellikle modelleme sürecinde kullanılan fotoğraflarda yer alan gökyüzü, çevredeki diğer ağaçlar ve nesneler gibi istenmeyen unsurlardan kaynaklanmaktadır. Bu durum, görsel bütünlüğü ve doğruluğu olumsuz yönde etkileyerek, elde edilen 3B verinin analiz edilebilirliğini zorlaştırmıştır. Çevresel gürültülerin varlığı, özellikle yoğun nokta bulutunun detaylı bir şekilde incelenmesi sırasında belirgin hale gelmiştir.

Bu tür gürültülerin temizlenmesi amacıyla, kullanılan fotogrametri yazılımının gelişmiş filtreleme araçları devreye alınmıştır. Filtreleme işlemi sırasında, modeldeki istenmeyen noktalar tespit edilmiş ve manuel ya da otomatik yöntemlerle temizlenmiştir. Bu süreçte, yazılımın sunduğu bölgesel seçim araçları ve yoğunluk tabanlı filtreleme algoritmaları kullanılmıştır. Gürültü temizleme işlemi sonucunda, modelin daha temiz, düzenli ve analiz edilebilir bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Şekil 7'de gürültü temizleme işlemi sonrası

elde edilen modelin görsel temsili sunulmaktadır. Bu işlem, modelin genel doğruluğunu artırmakla kalmamış, aynı zamanda görsel olarak daha anlaşılır bir yapı ortaya koymuştur.



Şekil 7. Filtrelenmiş yoğun nokta bulutu

Gürültü temizleme işleminin ardından, model üzerinde fotoğraf çekimlerinden kaynaklanan renk bütünlüğü problemleri tespit edilmiştir. Özellikle mavi ve yeşil tonların yoğun olduğu bölgelerde, renklerin homojen bir şekilde dağılmadığı ve bu durumun modelin görsel kalitesini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bu tür renk problemleri, genellikle çekim sırasında ışık koşullarının değişkenliği, gökyüzü yansımaları ve çevresel faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Renk bütünlüğünü sağlamak ve modelin görsel kalitesini artırmak amacıyla, yazılımın renge göre filtreleme aracı kullanılmıştır. Bu işlem sırasında, modeldeki mavi, mor ve turkuaz tonlar seçilerek manuel olarak temizlenmiştir. Kullanılan renklerin teknik özellikleri, RGB değerleri ve HTML kodları ile birlikte Çizelge 1'de sunulmaktadır. Bu renklerin seçimi, modeldeki istenmeyen renk tonlarının etkili bir şekilde giderilmesini sağlamıştır.

Renk filtreleme işlemi sonucunda, modelin görsel anlamda daha düzenli ve anlaşılır bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu işlem, modelin görsel kalitesini artırmanın yanı sıra, analiz edilebilirliğini de önemli ölçüde iyileştirmiştir. Şekil 8'de, filtreleme işlemi sonrası elde edilen 3B modelin görsel temsili sunulmaktadır. Bu sonuçlar, renk düzeltme işleminin modelleme sürecinde ne denli kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 1. Filtreleme için kullanılan renklere ait teknik özellikler

Renk	R	G	B	HTML
Mavi	0	170	255	#00aaff
Mor	170	170	255	#aaaaff
Turkuaz	0	255	255	#00ffff
Yeşil	0	255	0	#00ff00
Açık Mavi	135	206	250	#87cefa
Sarı	255	255	0	#ffff00
Kırmızı	255	0	0	#ff0000
Pembe	255	192	203	#ffc0cb
Kahverengi	139	69	19	#8b4513
Gri	128	128	128	#808080

**Şekil 8.** Filtrelenmiş ve renk düzeltilmesi yapılmış yoğun nokta bulutu

Elde edilen 3B nokta bulutu görsel olarak başarılı sonuçlar vermiştir. Görsel değerlendirmenin ardından metrik doğruluk açısından doğruluk analizi ve metrik analizler yapılmıştır.

3.2 Doğruluk analizi ile metrik analizler ve karşılaştırmalı bulgular

Elde edilen 3B verilerin doğruluğunu ve metrik analizlerini değerlendirmek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Bu süreçte, modelin geometrik doğruluğu, metrik ölçümleri ve görsel kalite değerlendirilmiştir. Analizler, modelin hem görsel hem de sayısal doğruluğunu ortaya koymuş ve fotogrametri tabanlı modelleme sürecinin etkinliğini göstermiştir.

Elde edilen 3B verilerin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla iki farklı yöntem uygulanmıştır. İlk yöntemde, sahada Ts cihazı ile ölçülen koordinat verileri ile 3B modelden elde edilen koordinat verileri karşılaştırılmış ve bu veriler üzerinden

KOH hesaplanmıştır. İkinci yöntemde ise, sahada ölçülen uzunluk değerleri ile 3B nokta bulutundan elde edilen uzunluk değerleri karşılaştırılmış ve bu veriler için de KOH hesaplanmıştır. Her iki yöntem, modelin metrik doğruluğunu değerlendirmek için kritik bir rol oynamıştır.

İlk analizde, sahada Ts cihazı ile ölçülen 7 adet kontrol noktasının (koordinat verileri) doğruluğu, 3B veriden elde edilen koordinat verileri ile karşılaştırılmıştır. Her bir kontrol noktası için, X, Y ve Z eksenlerindeki farklar hesaplanmış ve bu farklar üzerinden KOH değeri belirlenmiş ve Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Doğruluk analizi için koordinat verileri ve hata hesaplamaları

Nokta	Gerçek X (m)	3B X (m)	Gerçek Y (m)	3B Y (m)	Gerçek Z (m)	3B Z (m)	Hata (m)
1	10,000	10,015	5,000	5,010	2,000	2,005	0,018
2	12,000	12,020	6,000	6,005	2,500	2,510	0,024
3	14,000	14,010	7,000	7,015	3,000	3,020	0,026
4	16,000	16,005	8,000	8,010	3,500	3,490	0,016
5	18,000	18,010	9,000	9,020	4,000	4,015	0,026
6	20,000	20,015	10,000	10,005	4,500	4,490	0,021
7	22,000	22,010	11,000	11,015	5,000	5,010	0,022
KOH= 0,022 m							

İkinci analizde, sahada ölçülen 6 adet uzunluk değeri ile 3B nokta bulutundan elde edilen uzunluk değerleri karşılaştırılmıştır. Bu analiz, modelin metrik doğruluğunu değerlendirmek için uygulanmıştır. Her bir uzunluk için, sahada ölçülen değer ile modelden elde edilen değer arasındaki farklar hesaplanmış ve bu farklar üzerinden KOH değeri belirlenmiş ve Çizelge 3’te verilmiştir.

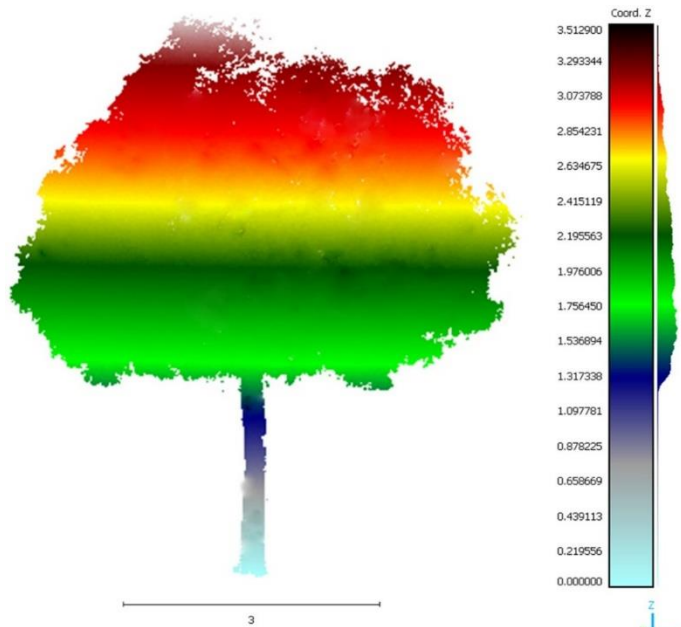
Çizelge 3. Doğruluk analizi için uzunluk verileri ve hata hesaplamaları

Uzunluk	Gerçek Uzunluk (m)	3B Nokta Bulutu Uzunluk (m)	Hata (m)
1	1,250	1,364	0,114
2	1,800	1,810	0,010
3	2,400	2,385	0,015
4	0,750	0,772	0,022
5	0,500	0,387	0,113
6	0,300	0,310	0,010
KOH= 0,0667 m			

Çizelge 3'teki verilere göre yapılan hesaplamalar sonucunda, uzunluk verileri için KOH değeri 0,0667 m (66,7 mm) olarak bulunmuştur. Bu sonuç, modelin uzunluk ölçümlerinde de yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir.

Yapılan doğruluk analizleri, elde edilen 3B verilerin hem koordinat hem de uzunluk ölçümlerinde yüksek doğruluk sunduğunu ortaya koymuştur. Koordinat verileri için hesaplanan 0,022 m KOH ve uzunluk verileri için hesaplanan 0,0667 m KOH, modelin metrik doğruluğunun oldukça iyi olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hata değerlerinin genellikle ağacın üst kısımlarında ve ince dallarda yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, fotogrametri sürecinde kullanılan fotoğrafların bindirme oranı ve ışık koşullarının bu bölgelerde yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu sonuçlar, fotogrametri tabanlı 3B nokta bulutu oluşturma yönteminin, ağaç gibi karmaşık yapılar için bile yüksek doğruluk sunduğunu ve bu yöntemin metrik analizler için güvenilir bir araç olduğunu göstermektedir. Şekil 9'da filtrelenmiş yoğun nokta bulutuna ait yükseklik bilgileri verilmiş ve çeşitli analizler yapılmıştır.



Şekil 9. Filtrelenmiş yoğun nokta bulutuna ait yükseklik bilgileri

Şekil 9'da gösterilen veriler ile ağacın boyu ve gövde çapı gibi temel ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler, model üzerinden alınan veriler ile sahada yapılan manuel ölçümler karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

- **Ağaç Boyu:** Model üzerinden yapılan ölçümlerde ağacın boyu 3,58 metre olarak hesaplanmıştır. Bu değer, sahada yapılan manuel ölçümle karşılaştırıldığında, yalnızca 0,0671 metre (6,71 cm) fark olduğu görülmüştür. Bu fark, modelin metrik doğruluğunun oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

- **Gövde Çapı:** Gövde çapı, modelin farklı yükseklik seviyelerinde ölçülmüş ve sahadaki ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Gövde çapı ölçümlerinde ortalama farkın 8 mm olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç, modelin özellikle gövde gibi daha az karmaşık bölgelerde yüksek doğruluk sunduğunu ortaya koymaktadır.

3B verilerin metrik değerlendirilmesinin yanında görsel kalitesi ve yüzey detaylarının doğruluğu açısından da değerlendirilmiştir. Yüksek çözünürlüklü fotoğraflar, modelin görsel kalitesini artırmış ve ağacın yüzey detaylarının net bir şekilde ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ancak, ince dallar ve yapraklar gibi karmaşık bölgelerde bazı detayların kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, fotogrametri sürecinde kullanılan fotoğrafların çözünürlüğü ve çekim açılarının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Doğruluk analizi ve metrik ölçümler, elde edilen 3B verinin hem görsel hem de metrik doğruluk açısından başarılı olduğunu göstermektedir. Model, ağaç boyu ve gövde çapı gibi temel ölçümleri yüksek doğrulukla sunmuş ve sahadaki ölçümlerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte, ince dallar ve yapraklar gibi karmaşık bölgelerde doğruluğun bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, fotogrametri sürecinde kullanılan fotoğraf çekim tekniklerinin ve yazılım algoritmalarının bu tür detaylar için daha fazla geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, düşük maliyetli fotogrametri teknikleri kullanılarak oluşturulan 3B modelin doğruluğu değerlendirilmiş ve elde edilen ölçümler manuel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen doğruluk değerleri, literatürde benzer yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalarla kıyaslandığında, yöntemin yüksek doğruluk sunduğu görülmektedir.

Miller et al. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, fotogrametri tabanlı 3B modelleme yönteminin ağaç yüksekliği ve gövde çapı ölçümlerinde ortalama 0,11 m hata payı sunduğu bildirilmiştir. Bu çalışma ile kıyaslandığında, fotogrametri ile belirlenen ağaç yüksekliği için hesaplanan hata 0,0671 m olarak bulunmuş ve bu değerin Miller ve arkadaşlarının çalışmasında belirtilen hata payından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çalışmamızda kullanılan mobil cihaz tabanlı yöntemin, yüksek doğruluk sağlayarak literatürde raporlanan değerlerle uyumlu veya daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde, Uzun ve Gül (2017) tarafından SfM tabanlı modelleme ile ağaç modellemesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Autodesk 123D Catch ve Agisoft PhotoScan yazılımları kullanılarak ağaç türleri için 3B modeller üretilmiş ve bu yazılımlar, görsellik ve kullanım kolaylığı açısından uzmanlar tarafından değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, fotogrametrik modelleme yazılımlarının sağladığı avantajlar ve dezavantajlar analiz edilmiş ancak hata oranları ve doğruluk analizleri detaylı olarak verilmemiştir. Bununla birlikte, elde edilen modellerin görsellik açısından gerçeğe yakınlığı ve modelleme sürecinin pratikliği üzerine bir karşılaştırma yapılmıştır bu çalışmada doğruluk analizleri sayısal verilerle desteklenerek yöntemin güvenilirliği detaylı olarak ortaya konulmuştur. Ayrıca, Uzun ve Gül (2017) çalışmasında 3B modelleme için kullanılan yazılımlar karşılaştırılmış ve Agisoft PhotoScan yazılımının Autodesk 123D Catch'e göre daha başarılı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada ise, mobil cihazlar kullanılarak yapılan modelleme sürecinin doğruluk açısından da güvenilir olduğu gösterilmiş ve geleneksel yöntemlerle kıyaslamalı bir analiz yapılmıştır. Böylece, fotogrametri tabanlı modelleme tekniklerinin yalnızca görsellik açısından değil, ölçümsel doğruluk açısından da tatmin edici sonuçlar sunduğu ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma ile Uzun ve Gül (2017) çalışması kıyaslandığında, her iki çalışmada da fotoğraflardan üretilen 3B modellerin analizine odaklanılmıştır.

Ancak, bu çalışmada ölçümsel doğruluk ve hata oranları doğrudan analiz edilerek yöntemin güvenilirliği detaylandırılmış ve sonuçların literatürdeki benzer çalışmalara kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğu ortaya konulmuştur.

Zeybek ve Vatandaşlar (2021) tarafından yapılan çalışmada, el-tipi LiDAR verileri kullanılarak orman envanterinde ağaç gövdelerinin otomatik tespiti ve çap hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, makine öğrenme algoritmaları kullanılarak nokta bulutları üzerinden ağaç gövdelerinin çıkarılması sağlanmış ve doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, el-tipi LiDAR ile yapılan ölçümlerin manuel ölçümlere kıyasla oldukça hassas sonuçlar sunduğu belirtilmiştir. Ancak, çalışmada ölçümlerin doğruluğu özellikle çap ölçümüne dayalı olup, genel ağaç yüksekliği tahminine yönelik doğrudan bir değerlendirme yapılmamıştır. Zeybek ve Vatandaşlar (2021) çalışmasında LiDAR teknolojisinin sağladığı yüksek nokta yoğunluğu sayesinde manuel ölçümlere oldukça yakın sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir. Ancak, LiDAR sistemlerinin yüksek maliyetli olması, manuel veri işleme gereksinimi ve büyük veri setleri ile çalışmanın getirdiği hesaplama yükü gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada ise, mobil cihazlarla yapılan fotogrametri tabanlı modelleme yöntemi kullanılarak benzer doğruluk seviyelerine ulaşıldığı gösterilmiştir. Böylece, daha düşük maliyetli ve erişilebilir bir alternatif olarak fotogrametri tabanlı modellemenin orman envanteri ve ağaç ölçümlerinde kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen doğruluk değerleri, Zeybek ve Vatandaşlar (2021) çalışmasında LiDAR verileriyle ulaşılan sonuçlarla kıyaslandığında benzer seviyede doğruluk sunduğunu göstermektedir. Ancak, bu çalışmada daha düşük maliyetli ve geniş uygulama alanına sahip bir yöntem önerilmiş ve geleneksel yöntemlerle kıyaslanarak doğruluğu detaylı olarak analiz edilmiştir. Literatürdeki diğer çalışmalarla yapılan bu karşılaştırmalar, önerilen yöntemin geleneksel ölçüm tekniklerine güçlü bir alternatif sunduğunu ve kentsel planlama, ormancılık ve çevresel analiz gibi alanlarda uygulanabilirliğini desteklediğini göstermektedir.

Durgun ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılarak elde edilen hava fotoğraflarından kızılçam ağaçlarının çap ve boy ölçümleri gerçekleştirilmiş ve gövde hacim tahminleri yapılmıştır. Çalışmada, İHA fotogrametrisi ile yapılan ölçümlerin geleneksel arazi ölçümleriyle karşılaştırıldığı ve çap ölçümlerinde 0,78 ile 0,92 arasında, boy ölçümlerinde 0,96 ile 0,99 arasında, hacim tahminlerinde ise 0,70 ile 0,93 arasında değişen korelasyon değerleri elde edildiği belirtilmiştir. Bu sonuçlar, İHA ile üretilen nokta bulutu ve ortomozaik verilerinin ağaç boyu ve çapı tahmini açısından yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmada mobil cihazlarla yapılan fotogrametrik modellemenin doğruluk seviyesi detaylı olarak incelenmiştir. Bu kıyaslama, daha düşük maliyetli ve daha erişilebilir bir yöntemin, İHA destekli yöntemlere kıyasla ne kadar başarılı sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Durgun ve ark. (2022) çalışmasında kızılçam ağaçları üzerinde yapılan ölçümlerin doğruluk analizleri gerçekleştirilmiş ve çap ölçümlerinin yersel ölçümlerle yüksek korelasyon gösterdiği belirtilmiştir. Ancak, bu çalışmada geleneksel ölçüm yöntemleriyle kıyaslama yapılarak doğruluk analizleri sayısal olarak detaylandırılmıştır. Özellikle mobil cihazlarla yapılan

fotogrametrik modelleme sürecinin, geleneksel yöntemlere kıyasla maliyet ve zaman açısından avantaj sunduğu ortaya konulmuştur.

Zeybek (2020) tarafından yapılan çalışmada, el-tipi mobil LiDAR sistemleri kullanılarak tek ağaç gövdelerinin otomatik çıkarımı gerçekleştirilmiş ve farklı istatistiksel sınıflandırma algoritmalarının doğruluk analizleri yapılmıştır. Çalışmada, lojistik regresyon, doğrusal ayırıştırma analizi, rastgele orman ve destek vektör makineleri kullanılarak nokta bulutları üzerinden ağaç gövdelerinin tespit edilmesi sağlanmıştır. Sonuçlara göre, rastgele orman algoritması en yüksek doğruluk oranını sağlarken (0,946), veri işleme performansı açısından doğrusal ayırıştırma analizinin daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra, sınıflandırılan noktaların %80'inin ± 5 cm sapma aralığında olduğu belirtilmiş ve ağaç yüksekliği belirleme sürecinde el-tipi LiDAR sistemlerinin kısıtlı görüş alanı nedeniyle bazı eksiklikler yaşandığı ifade edilmiştir. Zeybek (2020) çalışmasında LiDAR tabanlı nokta bulutlarının sınıflandırma doğruluğu analiz edilirken, bu çalışmada geleneksel ölçüm yöntemleriyle kıyaslama yapılarak ölçüm doğruluğu analiz edilmiştir. Fotogrametri tabanlı modelleme yönteminin LiDAR sistemleri ile elde edilen modellere kıyasla daha düşük maliyetli ve taşınabilir bir çözüm sunduğu, ancak nokta bulutlarının doğruluğu ve detay seviyesi açısından bazı sınırlamaları olduğu ortaya konulmuştur. Zeybek (2020) çalışmasında, el-tipi LiDAR sistemlerinin veri toplama açısından sağladığı hız ve otomatik sınıflandırma algoritmalarının kullanım avantajları öne çıkarılmıştır. Ancak, bu sistemlerin yoğun veri işleme gereksinimi ve büyük veri kümeleri ile çalışmanın getirdiği hesaplama yükü nedeniyle bazı zorluklar içerdiği belirtilmiştir. Bu çalışmada ise, mobil cihazlarla yapılan fotogrametri tabanlı modelleme yöntemi kullanılarak benzer analizler gerçekleştirilmiş ve yöntemin hem pratik hem de yüksek doğruluk sunduğu gösterilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında mobil cihaz tabanlı fotogrametri yöntemiyle elde edilen doğruluk değerleri, literatürde raporlanan benzer çalışmalara karşılaştırıldığında yüksek hassasiyet sunmuş ve yöntemin doğruluğu kanıtlanmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalarla yapılan karşılaştırmalar, önerilen yöntemin geleneksel ölçüm tekniklerine güçlü bir alternatif sunduğunu ve kentsel planlama, ormancılık ve çevresel analiz gibi alanlarda uygulanabilirliğini desteklediğini göstermektedir.

4. Kısıtlamalar

Bu çalışmada kullanılan yöntem ve elde edilen sonuçlar, belirli sınırlamalara sahiptir. Fotoğraf çekiminde ışık koşullarının değişkenliği ve çevresel gürültüler, modelin doğruluğunu etkileyen temel faktörlerdir. İnce dallar ve yapraklar gibi karmaşık bölgelerde detay kayıpları yaşanmış, bu durum fotogrametri yazılımının sınırlamalarından kaynaklanmıştır. Çevresel gürültülerin temizlenmesi için manuel filtreleme işlemleri gerekmiş, bu da süreci daha zaman alıcı hale getirmiştir. Ayrıca, kullanılan donanımın işlem gücü, daha büyük ve karmaşık veri setlerinin işlenmesinde performans sınırlamaları yaratmıştır. Modelin ölçeklendirilmesi sırasında referans noktalarının doğruluğu, sonuçların hassasiyetini doğrudan etkilemiştir. Fotogrametri tekniği, yalnızca yüzey detaylarını modelleyebilmiş, ağacın iç yapısı gibi unsurlar

modellenememiştir. Çalışma, tek bir ağacın modellenmesi üzerine odaklanmış olup, daha karmaşık ormanlık alanlarda uygulanabilirliği sınırlı kalabilir. Bu kısıtlamalar, yöntemin geliştirilmesi ve daha geniş kapsamlı uygulamalarda kullanılabilmesi için önemli bir rehber niteliğindedir.

5. Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada, düşük maliyetli fotogrametri teknikleri ve mobil cihazlar kullanılarak tek bir ağacın 3B modeli başarıyla oluşturulmuş ve bu modelden metrik veriler elde edilmiştir. Çalışma, fotogrametri ve SfM algoritmalarının, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı, ekonomik ve yüksek doğrulukta sonuçlar sunduğunu göstermiştir. Elde edilen 3B veriler, ağaç boyu ve gövde çapı gibi temel metriklerin doğru bir şekilde ölçülmesini sağlamış ve sahada yapılan manuel ölçümlerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Doğruluk analizleri, 3B verilerin koordinat ve uzunluk ölçümlerinde yüksek doğruluk sunduğunu ortaya koymuş, özellikle gövde gibi daha az karmaşık bölgelerde hata oranlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak, ince dallar ve yapraklar gibi karmaşık bölgelerde detay kayıpları yaşanmış, bu durum fotogrametri sürecinde kullanılan fotoğrafların çözünürlüğü ve çekim tekniklerinin sınırlamalarından kaynaklanmıştır. Çalışma, fotogrametri tabanlı 3B değerlendirme yönteminin ormancılık, kentsel planlama ve çevresel analizler gibi alanlarda uygulanabilirliğini göstermiştir.

Bu bağlamda, yöntemin daha geniş bir uygulama alanında kullanılabilirliğini artırmak için bazı öneriler sunulmuştur. İnce dallar ve yapraklar gibi karmaşık bölgelerde detay kayıplarını azaltmak için daha yüksek çözünürlüklü fotoğraflar ve gelişmiş yazılım algoritmaları kullanılmalıdır. Fotoğraf çekiminde ışık koşullarının homojen olmasını sağlamak için sabah veya öğlen saatleri tercih edilmeli ve gölgelenme problemlerini azaltacak ek ışık kaynakları kullanılmalıdır. Daha büyük ve karmaşık veri setlerinin işlenmesi için daha güçlü işlemciler ve yüksek RAM kapasitesine sahip bilgisayarlar kullanılmalıdır. Çevresel gürültülerine etkisini en aza indirmek için çekim alanının dikkatle seçilmesi ve yazılımın otomatik filtreleme araçlarının daha etkin kullanılması önerilmektedir. Çalışma, tek bir ağacın modellenmesi üzerine odaklanmıştır. Daha karmaşık ormanlık alanlarda uygulanabilirliği artırmak için yöntemlerin ölçeklenebilirliği ve otomasyonu üzerine çalışmalar yapılmalıdır. Fotogrametri tabanlı 3B değerlene yöntemlerinin ormancılık ve şehir planlama gibi alanlarda daha yaygın kullanımı için eğitim programları ve kullanıcı dostu yazılımlar geliştirilmelidir. Ayrıca, fotogrametri tekniklerinin, LiDAR gibi diğer uzaktan algılama teknolojileriyle birleştirilmesi, modelleme doğruluğunu ve detay seviyesini artırabilir. Bu öneriler, fotogrametri tabanlı 3B değerlendirme yöntemlerinin daha geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilirliğini artırmak ve çevresel analizlerde daha etkili sonuçlar elde etmek için önemli bir rehber niteliğindedir.

Kaynaklar

Agisoft, 2022. Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8. Agisoft LLC, St. Petersburg.
Akarsu, N., 2019. Orman sahalarında ağaç boyunun fotogrametrik yöntemlerle elde edilmesi. Yüksek Lisans

Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
Balaban, O., Özgür, B., Sakar, B., 2021. İklim değişikliği, göç ve yerel yönetimler. Yerel Yönetişim ve Göç Dizisi II-Kitap, 2.
Balestra, M., Tonelli, E., Vitali, A., Urbinati, C., Frontoni, E., Pierdicca, R., 2023. Geomatic data fusion for 3D tree modeling: The case study of monumental chestnut trees. Remote Sensing, 15(8), 2197.
Çakıroğlu, E.O., 2024. Anıtsal yapıların farklı 3D modelleme programları ve ağaç türleri ile uygulanabilirliği. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 25(1), 181–198.
Cárdenas, J.L., Ogayar, C.J., Feito, F.R., Jurado, J.M., 2022. Modeling of the 3D tree skeleton using real-world data: a survey. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 29(12), 4920–4935.
Ceylan, M.C., Uysal, M., 2021. İnsansız hava aracı ile elde edilen veriler yardımıyla ağaç çıkarımı. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 3(1), 15–21.
Dai, T.S., Lyuu, Y.D., 2010. The bino-trinomial tree: A simple model for efficient and accurate option pricing. Journal of Derivatives, 17(4), 7.
de Jesus França, L.C., Júnior, F.W.A., e Silva, C.S.J., Monti, C.A.U., Ferreira, T.C., de Oliveira Santana, C.J., Gomide, L.R., 2022. Forest landscape planning and management: a state-of-the-art review. Trees, Forests and People, 8, 100275.
Deliry, S.I., Avdan, U., 2021. Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: a review. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 49(8), 1997–2017.
Dong, Y., Fan, G., Zhou, Z., Liu, J., Wang, Y., Chen, F., 2021. Low cost automatic reconstruction of tree structure by AdQSM with terrestrial close-range photogrammetry. Forests, 12(8), 1020.
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.
Durrieu, S., Vega, C., Bouvier, M., Gosselin, F., Renaud, J.P., Saint-André, L., Soma, M., 2024. Optical remote sensing of tree and stand heights. In: Remote Sensing Handbook, Volume IV, CRC Press, pp. 125–188.
Estornell, J., Martí, J., Hadas, E., López-Cortés, I., Velázquez-Martí, B., Fernández-Sarriá, A., 2024. Biomass estimation of abandoned orange trees using UAV-SfM 3D points. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 130, 103931.
Fassnacht, F.E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L.T., Ghosh, A., 2016. Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 186, 64–87.
Fernández-Sarriá, A., López-Cortés, I., Martí, J., Estornell, J., 2022. Estimation of walnut structure parameters using terrestrial photogrammetry based on structure-from-motion (SfM). Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 50(10), 1931–1944.
Fraser, B.T., 2021. Characterizing forest stands using unmanned aerial systems (UAS) digital photogrammetry: Advancements and challenges in monitoring local scale

- forest composition, structure, and health. Doctoral Thesis, University of New Hampshire, Durham.
- Freschet, G.T., Pagès, L., Iversen, C.M., Comas, L.H., Rewald, B., Roumet, C., McCormack, M.L., 2021. A starting guide to root ecology: strengthening ecological concepts and standardising root classification, sampling, processing and trait measurements. *New Phytologist*, 232(3), 973–1122.
- Greco, R., Barca, E., Raunonen, P., Persia, M., Tartarino, P., 2023. Methodology for measuring dendrometric parameters in a Mediterranean forest with UAVs flying inside forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122, 103426.
- Greve, M.H., Kheir, R.B., Greve, M.B., Bøcher, P.K., 2012. Quantifying the ability of environmental parameters to predict soil texture fractions using regression-tree model with GIS and LIDAR data: The case study of Denmark. *Ecological Indicators*, 18, 1–10.
- Gruen, A., 2021. Everything moves: The rapid changes in photogrammetry and remote sensing. *Geo-spatial Information Science*, 24(1), 33–49.
- Gülci, S., Akay, A.E., Arıcak, B., Sariyildiz, T., 2023. Recent advances in UAV-based structure-from-motion photogrammetry for aboveground biomass and carbon storage estimations in forestry. In: *Concepts and Applications of Remote Sensing in Forestry*, pp. 395–409.
- Hamal, S.N.G., Ulvi, A., 2022. 3B kent modelleri oluşturma sürecinde İHA fotogrametrisi ve CBS entegrasyonu: Mersin Üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü örneği. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(2), 97–105.
- Jiang, S., Jiang, W., Wang, L., 2021. Unmanned aerial vehicle-based photogrammetric 3D mapping: A survey of techniques, applications, and challenges. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 10(2), 135–171.
- Jurado, J.M., López, A., Pádua, L., Sousa, J.J., 2022. Remote sensing image fusion on 3D scenarios: A review of applications for agriculture and forestry. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102856.
- Kabadayı, A., 2024. Mobil cihazların fotogrametri tabanlı 3B modellemedeki potansiyeli üzerine bir araştırma. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 71–77.
- Kabadayı, A., Erdoğan, A., 2022. Application of terrestrial photogrammetry method in cultural heritage studies: A case study of Seyfeddin Karasungur. *Mersin Photogrammetry Journal*, 4(2), 62–67.
- Kabadayı, A., Erdoğan, A., 2023. İHA fotogrametrisi kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 boyutlu nokta bulutu ve modelinin üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 5(1), 29–35.
- Kabadayı, A., Kaya, Y., 2024. Tarihi sütunların yersel fotogrametri yöntemiyle 3 boyutlu modellenmesi ve web tabanlı görselleştirilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 6(2), 48–53.
- Kaya, Y., Temel, D., 2022. Cep telefonu kameralarından elde edilen görüntüler ile kültürel miras eserlerinin modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 17–22.
- Kaya, Y., Şenol, H.İ., Polat, N., 2021. Three-dimensional modeling and drawings of stone column motifs in Harran Ruins. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 48–52.
- Kovanič, L., Peťovský, P., Topitzner, B., Blišťan, P., 2024. Spatial analysis of point clouds obtained by SfM photogrammetry and the TLS method—Study in quarry environment. *Land*, 13(5), 614.
- Kum, Ö., 2022. Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3D modellenmesi: Tokat yazma kalıbı örneği. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 237–252.
- Lauria, G., Sineo, L., Ficarra, S., 2022. A detailed method for creating digital 3D models of human crania: An example of close-range photogrammetry based on the use of structure-from-motion (SfM) in virtual anthropology. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14(3), 42.
- Lavaquiol, B., Sanz, R., Llorens, J., Arnó, J., Escolà, A., 2021. A photogrammetry-based methodology to obtain accurate digital ground-truth of leafless fruit trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106553.
- Lin, Q., Huang, H., Chen, L., Wang, J., Huang, K., Liu, Y., 2021. Using the 3D model RAPID to invert the shoot dieback ratio of vertically heterogeneous Yunnan pine forests to detect beetle damage. *Remote Sensing of Environment*, 260, 112475.
- Lin, Y., Wiegand, K., 2021. Towards 3D tree spatial pattern analysis: Setting the cornerstone of LiDAR advancing 3D forest structural and spatial ecology. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102506.
- Lindenmayer, D.B., Laurance, W.F., 2017. The ecology, distribution, conservation and management of large old trees. *Biological Reviews*, 92(3), 1434–1458.
- Liu, J., Feng, Z., Mannan, A., Khan, T.U., Cheng, Z., 2019. Comparing non-destructive methods to estimate volume of three tree taxa in Beijing, China. *Forests*, 10(2), 92.
- Majeed, F.A., Abaas, Z.R., 2023. The ecological balance restoration in existing cities. *Journal of Al-Farabi for Engineering Sciences*, 2(1), 15–15.
- Maravelakis, E., Bilalis, N., Mantzourou, I., Konstantaras, A., Antoniadis, A., 2012. 3D modelling of the oldest olive tree of the world. *IJCER*, 2(2), 340–347.
- Marín-Buzón, C., Pérez-Romero, A., López-Castro, J.L., Ben Jerbania, I., Manzano-Agugliaro, F., 2021. Photogrammetry as a new scientific tool in archaeology: Worldwide research trends. *Sustainability*, 13(9), 5319.
- Miller, J., Morgenroth, J., Gomez, C., 2015. 3D modelling of individual trees using a handheld camera: Accuracy of height, diameter and volume estimates. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 932–940.
- Morgenroth, J., Gómez, C., 2014. Assessment of tree structure using a 3D image analysis technique—A proof of concept. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(1), 198–203.
- Nitoslawski, S.A., Wong-Stevens, K., Steenberg, J.W., Witherspoon, K., Nesbitt, L., Konijnendijk Van Den Bosch, C.C., 2021. The digital forest: Mapping a decade of knowledge on technological applications for forest ecosystems. *Earth's Future*, 9(8), e2021EF002123.
- Pérez-Martín, E., López-Cuervo Medina, S., Herrero-Tejedor, T., Pérez-Souza, M.A., Aguirre de Mata, J., Ezquerro-Canalejo, A., 2021. Assessment of tree diameter estimation methods from mobile laser scanning in a historic garden. *Forests*, 12(8), 1013.

- Sen, S.I., Day, A.M., 2005. Modelling trees and their interaction with the environment: A survey. *Computers & Graphics*, 29(5), 805–817.
- Şenol, H.İ., Orman, E., 2022. Diyarbakır Mardin Kapı'nın yersel fotogrametri yöntemiyle 3B belgelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4(1), 1–6.
- Shu, Q., Rötzer, T., Detter, A., Ludwig, F., 2022. Tree information modeling: A data exchange platform for tree design and management. *Forests*, 13(11), 1955.
- Sinha, R., Quirós, J.J., Sankaran, S., Khot, L.R., 2022. High resolution aerial photogrammetry based 3D mapping of fruit crop canopies for precision inputs management. *Information Processing in Agriculture*, 9(1), 11–23.
- Suwardhi, D., Fauzan, K.N., Harto, A.B., Soeksmantono, B., Virtriana, R., Murtiyoso, A., 2022. 3D modeling of individual trees from LiDAR and photogrammetric point clouds by explicit parametric representations for green open space (GOS) management. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(3), 174.
- Temiz Topsakal, M., Sağlık, A., 2024. Biyomimikrik kentlerin yeşil altyapı yönetimi ile değerlendirilmesi. *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences*, 7(1), 239–259.
- Ulusoy, A.S., Sevim, H., 2024. Fiziki mekânın fotogrametri ile dijitalleştirilmesinde görüntü sayısı ve çözünürlüğünün etkileri. *PLANARCH - Design and Planning Research*, 8(2), 260–269.
- Uslu, A., Uysal, M., 2022. Kitle kaynaklı veriler kullanılarak anıt ağaçların 3 boyutlu modellenmesi: Boab hapishane ağacı örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 98–103.
- Uzun, Ö.F., Atila, G., Gül, A., Ü.L., 2017. Fotoğraf yardımı ile 3 boyutlu ağaç modellenmesinde uygun programın araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 621–631.
- Vinceti, B., Termote, C., Ickowitz, A., Powell, B., Kehlenbeck, K., Hunter, D., 2013. The contribution of forests and trees to sustainable diets. *Sustainability*, 5(11), 4797–4824.
- Vogt, H., 2021. Derivation of forest inventory parameters from high-resolution satellite imagery for the Thunkel area, Northern Mongolia. A comparative study on various satellite sensors and data analysis techniques. Doctoral Thesis, Georg-August Universität, Göttingen.
- Whittingham, A.R., 2024. iPhone LiDAR to support documentation of clandestine gravesite photogrammetry reconstruction and depth measurement accuracy. Doctoral Thesis, Murdoch University, Perth.
- Yan, X., Chai, G., Han, X., Lei, L., Wang, G., Jia, X., Zhang, X., 2024. SA-Pmnet: Utilizing close-range photogrammetry combined with image enhancement and self-attention mechanisms for 3D reconstruction of forests. *Remote Sensing*, 16(2), 416.
- Zeybek, M., Vatandaşlar, C., 2021. El-tipi LiDAR verisiyle ağaç gövdelerinin tespiti ve sınıflandırılmasında yapay zeka teknikleri. 8. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu, 26–28 Ekim, 2021, Nevşehir, Türkiye, pp. 489–497.
- Zeybek, M., 2020. El-tipi LiDAR nokta bulutundan tek ağaç gövdesinin otomatik çıkarımında istatistiksel sınıflandırma algoritmalarının performans analizi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21(2), 200–213.