



Estimating Volume and Mass Using a Single Camera

Mehmet KARATAŞ^{1*}

¹ Department of Computer Engineering, Iskenderun Technical University, Hatay, Türkiye.
mehmetkaratas.mdbf22@iste.edu.tr

ABSTRACT

Single-camera photogrammetry systems are becoming increasingly important in various disciplines such as biology, engineering, environmental science, and medicine due to their cost-effectiveness and portability. This approach aims to determine the physical properties of objects or organisms by extracting 3D structural information from 2D images. UAV-based photogrammetry studies have achieved high accuracy in biological samples, while advanced image processing and deep learning techniques have increased sensitivity in segmentation and classification. Furthermore, applications in environmental and materials science demonstrate the broad potential of single-camera systems. Consequently, with appropriate photogrammetry and AI-supported algorithms, single-camera systems are becoming a powerful tool for reliable volume and mass estimation in multidisciplinary research.

ARTICLE INFO

Received 29.04.2026,

Accepted 13.06.2026,

Publication Date 30.06.2026

Keywords:

monocular volume
estimation, single camera
volume estimation,
monocular mass
estimation, mass prediction
from images, image-based
volume estimation

Distributed Under CC-BY 4.0



*Corresponding Author: Mehmet KARATAŞ, E-mail: mehmetkaratas.mdbf22@iste.edu.tr

Tek Kamera Kullanarak Hacim ve Kütle Tahmini

ÖZET

Tek kamera sistemleriyle hacim ve kütle tahmini, maliyet etkinliği ve taşınabilirliği sayesinde biyoloji, mühendislik, çevre ve tıp gibi farklı disiplinlerde giderek önem kazanan bir yöntemdir. Bu yaklaşım, 2D görüntülerden 3D yapısal bilgi çıkarımıyla nesnelerin veya canlıların fiziksel özelliklerini belirlemeyi hedefler. İHA tabanlı fotogrametri çalışmaları biyolojik örneklerde yüksek doğruluk sağlamış, gelişmiş görüntü işleme ve derin öğrenme teknikleri ise segmentasyon ve sınıflandırmada hassasiyet artırmıştır. Ayrıca çevresel ve malzeme bilimlerinde yapılan uygulamalar tek kamera sistemlerinin geniş kullanım potansiyelini göstermektedir. Sonuç olarak, uygun fotogrametri ve yapay zekâ destekli algoritmalarla tek kamera sistemleri, multidisipliner araştırmalarda güvenilir hacim ve kütle tahmini için güçlü bir araç haline gelmektedir.

MAKALE BİLGİSİ

Keywords:

monoküler hacim tahmini, tek kameralı hacim tahmini, monoküler kütle tahmini, görüntülerden kütle tahmini, görüntü tabanlı hacim tahmini

Distributed Under CC-BY 4.0



GİRİŞ

Tek kamera kullanılarak hacim ve kütle tahmini, multidisipliner alanlarda giderek önem kazanan bir araştırma konusudur. Özellikle biyoloji, mühendislik, çevre bilimleri ve endüstri gibi farklı disiplinlerde, nesnelerin veya canlıların fiziksel özelliklerinin doğru ve hızlı bir şekilde belirlenmesi gerekliliği, bu alandaki teknolojik gelişmeleri tetiklemiştir (Dogan 2022; Abouzitoun, 2023). Tek kamera sistemleri, maliyet etkinliği, kullanım kolaylığı ve taşınabilirlik gibi avantajları nedeniyle hacim ve kütle tahmininde tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır. Ancak, tek kamera ile üç boyutlu (3D) hacim ölçümü ve kütle tahmini yapmak, görüntü işleme ve fotogrametri tekniklerinin hassasiyetine bağlı olarak çeşitli zorluklar içermektedir.

Tek kamera ile hacim ve kütle tahmini, temel olarak iki boyutlu (2D) görüntülerden üç boyutlu yapısal bilgiler çıkarma sürecini içerir. Bu süreçte, görüntü işleme algoritmaları ve matematiksel modeller kullanılarak nesnenin geometrik özellikleri belirlenir. Ancak, tek kameranın sınırlı

perspektifi nedeniyle, nesnenin tam hacmini ve dolayısıyla kütlesini doğru şekilde tahmin etmek karmaşık bir problemidir. Bu nedenle, özellikle biyolojik örneklerde ve doğal ortamda serbest yaşayan canlılarda uygulanan yöntemlerde, doğruluk ve güvenilirlik kritik öneme sahiptir.

Son yıllarda insansız hava araçları (İHA) veya drone'lar kullanılarak yapılan üç boyutlu fotogrametri çalışmaları, tek kamera sistemlerinin bu alandaki potansiyelini göstermiştir. Shero ve arkadaşları (2021), gri fokların (*Halichoerus grypus*) doğal ortamlarında 3D fotogrametri yöntemiyle hacim ve kütle tahmini yapmışlardır. Çalışmada, çok sayıda hayvanın aynı anda görüntülenmesi ve hacim ölçümlerinin doğruluğunun yer ölçümleriyle karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu yöntem, tek bir multirotor İHA'nın 360 derece yörüngede uçuşu sırasında çekilen görüntülerden oluşturulan 3D nokta bulutu ve dijital yüzey modeli sayesinde hayvanların hacimsel ölçümlerini mümkün kılmıştır. Elde edilen hacim ölçümleri, gerçek kütle ile yüksek korelasyon göstermiş ve ortalama mutlak hata yetişkin dişilerde 3.8 kg (%2.1), yavrularda ise 4.1 kg (%9.8) olarak raporlanmıştır (Shero et al., 2021). Bu çalışma, tek kamera sistemlerinin uygun uçuş ve görüntü işleme teknikleriyle yüksek doğrulukta hacim ve kütle tahmini yapabileceğini ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde Krause ve arkadaşları (2017), Antarktika kıyılarında yaşayan leopar foklarının (*Hydrurga leptonyx*) kütle ve vücut kondisyonlarını küçük İHA'lar kullanarak fotogrametri yoluyla tahmin etmişlerdir. Tek dikey açıdan alınan görüntülerle yapılan ölçümler, yer ölçümleriyle istatistiksel olarak anlamlı fark göstermemiştir. Ayrıca, geliştirilen allometrik lineer karışık etkiler modeli ile fokların kütlesi yaklaşık %4.4 hata payıyla tahmin edilmiştir (Krause et al., 2017). Bu bulgular, tek kamera sistemlerinin uygun modelleme ile biyolojik hacim ve kütle tahmininde güvenilir sonuçlar verdiğini desteklemektedir.

Tek kamera sistemlerinin hacim tahminindeki zorluklarından biri, nesnenin pozisyonu ve duruşuna bağlı olarak ölçümlerde ortaya çıkan değişkenliktir. Shero ve arkadaşları (2021), 2D uzunluk ölçümlerinin hayvanların yatış pozisyonu nedeniyle hassas olduğunu belirtirken, 3D fotogrametri yönteminin bu sınırlamaları aşarak daha doğru hacim ölçümleri sağladığını vurgulamışlardır (Shero et al., 2021). Bu durum, tek kamera sistemlerinde üç boyutlu yapı çıkarımının önemini ortaya koymaktadır.

Görüntü işleme teknikleri, tek kamera ile elde edilen verilerin analizinde kritik rol oynamaktadır. Özellikle segmentasyon, sınıflandırma ve özellik çıkarımı gibi işlemler, hacim ve kütle tahmininin temelini oluşturur. Sağ (2015) tarafından yapılan çalışmada sürü zekâsı teknikleri kullanılarak renkli görüntü segmentasyonu gerçekleştirilmiş ve bu yöntemlerin doğruluğu klasik algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerine yönelik geliştirilen hibrit algoritma IBMO, renkli görüntü segmentasyonunda yüksek başarı sağlamış ve bu sayede nesne sınırlarının doğru belirlenmesi mümkün olmuştur (Sağ, 2015). Bu tür gelişmiş segmentasyon teknikleri, tek

kamera görüntülerinden elde edilen verilerin işlenmesinde hacim hesaplamalarının doğruluğunu artırmaktadır.

Ayrıca, dijital görüntü korelasyonu (DIC) gibi matematiksel temelli temassız deformasyon ölçüm teknikleri de hacim tahmininde kullanılmaktadır. Yıldırım ve arkadaşları (2019), çimento esaslı lifli kompozitlerde çoklu çatlak davranışını DIC yöntemiyle incelemişlerdir. DIC'nin alansal deformasyon ölçümü yapabilmesi ve deney sonrası analiz imkânı sunması, malzeme hacmi değişimlerinin hassas takibine olanak sağlamıştır (Yıldırım et al., 2019). Benzer prensipler biyolojik hacim ölçümlerinde de uygulanabilir.

Tek kamera sistemlerinin kullanıldığı diğer bir önemli alan ise tıbbi görüntü işlemedir. Eker ve Duru (2021), medikal görüntü işleme alanında derin öğrenme yöntemlerinin uygulanmasını incelemişlerdir. MRI, BT gibi tıbbi görüntülerde segmentasyon ve sınıflandırma için kullanılan derin öğrenme algoritmaları, görüntülerden elde edilen verilerin daha doğru yorumlanmasını sağlamaktadır (Eker et al., 2021). Bu gelişmeler, tek kamera ile elde edilen biyolojik veya endüstriyel görüntülerde hacim tahmini için de yol gösterici olabilir.

Tek kamera sistemleriyle yapılan hacim tahminlerinde kullanılan fotogrametri teknikleri genellikle yapıdan hareket yöntemi (structure-from-motion) esasına dayanır. Bu yöntemle farklı açılardan çekilen 2D görüntülerden 3D nokta bulutu oluşturulur. Shero ve arkadaşlarının çalışmasında olduğu gibi İHA'lar tarafından çekilen çok sayıda görüntünün coğrafi referanslandırılmasıyla oluşturulan ortomozayik ve dijital yüzey modelleri, nesnelerin hacimsel analizlerini mümkün kılmaktadır (Shero et al., 2021). Bu yaklaşımın avantajı, geniş alanlarda aynı anda çok sayıda nesnenin ölçümünün yapılabilmesidir.

Tek kamera ile hacim tahmini sadece biyolojik örneklerle sınırlı kalmayıp çevresel uygulamalarda da kullanılmaktadır. Çalışkan (2019), topoğrafik yüzey değişimlerinin İHA görüntüleri kullanılarak izlenmesini incelemiştir. Farklı zamanlarda elde edilen ortomozayikler arasındaki benzerlik ve farklılıklar analiz edilerek yüzey hareketleri tespit edilmiştir (Zeybek, 2019). Bu tür uygulamalar, arazi şekillerinin hacimsel değişimlerinin izlenmesinde tek kamera sistemlerinin etkinliğini göstermektedir.

Bunun yanı sıra, karma lifli betonların çatlak yapısının incelenmesinde Akçay Aldanmaz (2020) tarafından yapılan çalışmada da görüntü analiz teknikleri kullanılmıştır. Liflerin hacmi ve boyutunun çatlak oluşumu üzerindeki etkisi uniaxial çekme deneyleriyle belirlenmiş olup, görüntü analizleri sayesinde çatlakların iç yapısı detaylı şekilde ortaya konmuştur (Aldanmaz, 2020). Bu tür detaylı görüntü analizleri, malzeme hacim değişikliklerinin anlaşılmasında önemli katkılar sağlamaktadır.

Tek kameranın sınırlamalarını aşmak için bazı çalışmalarda derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Hidayat ve arkadaşları (2022), CNN tabanlı görüntü işleme teknikleriyle su baskını

tespiti yapmışlardır. Kamera görüntülerinden elde edilen veriler üzerinde derin öğrenme algoritmaları uygulanarak erken uyarı sistemleri geliştirilmiştir (Hidayat et al., 2022). Bu tür yapay zeka destekli yöntemler, tek kamera sistemlerinden elde edilen verilerin daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır.

Tek kamera ile yapılan hacim tahminlerinde kullanılan yöntemlerin doğruluğu genellikle yer ölçümleri veya alternatif sensörlerle karşılaştırılarak değerlendirilir. Shero ve arkadaşları (2021) çalışmalarında el ile yapılan morfometrik ölçümlerle UAS tabanlı 3D fotogrametrik modellerin sonuçlarını karşılaştırmışlar ve yüksek uyum elde etmişlerdir (Shero et al., 2021). Krause ve arkadaşları (2017) da benzer şekilde UAS fotogrametrisi ile elde edilen uzunluk ölçümlerinin yer ölçümleriyle istatistiksel olarak farklı olmadığını raporlamışlardır (Krause et al., 2017).

Tek kameranın kullanıldığı hacim tahminlerinde önemli bir diğer husus da veri toplama sürecidir. UAS'lar sayesinde geniş alanlarda hızlı veri toplanabilmekte ve aynı anda çok sayıda nesne modellenabilmektedir. Shero ve arkadaşlarının çalışmasında bir uçuşta 1 ila 46 hayvanın aynı anda modellenebildiği belirtilmiştir (Shero et al., 2021). Bu durum, saha çalışmalarında zaman tasarrufu sağlamakta ve örneklem büyüklüğünü artırmaktadır.

Sonuç olarak, tek kamera sistemleriyle hacim ve kütle tahmini multidisipliner araştırmalarda giderek yaygınlaşmakta olup, özellikle İHA teknolojileriyle birleştiğinde yüksek doğrulukta sonuçlar vermektedir. Görüntü işleme algoritmalarının gelişimi ve derin öğrenme tekniklerinin entegrasyonu ile bu alandaki uygulamalar çeşitlenmekte ve hassasiyet artmaktadır. Fotogrametri temelli yaklaşımlar sayesinde biyolojik örneklerden malzeme bilimlerine kadar geniş bir yelpazede hacimsel analizler yapılabilmektedir.

Bu bağlamda, tek kamera ile hacim ve kütle tahmini alanında yapılan çalışmaların temelini oluşturan fotogrametri yöntemleri, gelişmiş görüntü işleme teknikleri ve yapay zeka destekli algoritmaların entegrasyonu multidisipliner araştırmalar için önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle doğal ortamda serbest yaşayan canlıların enerji dinamiklerinin izlenmesi gibi uygulamalarda bu teknolojilerin kullanımı artmaktadır (Shero et al., 2021). Ayrıca medikal görüntüleme alanında da benzer prensipler geçerli olup, derin öğrenme tabanlı segmentasyon teknikleri hastalık teşhisinde önemli rol oynamaktadır (Eker et al., 2021).

Bu giriş bölümünde ele alınan literatür ışığında, tek kamera sistemleriyle hacim ve kütle tahmininin temel prensipleri, uygulama alanları ve karşılaşılan zorluklar ortaya konmuştur. İlerleyen bölümlerde bu teknolojilerin detaylı teknik altyapısı, uygulama örnekleri ve performans değerlendirmeleri incelenecektir.

MATERYAL VE METHOD

Veri Seti

Bu çalışmada, sistemin başarımını ve ölçüm doğruluğunu test etmek amacıyla günlük hayatta sıkça tüketilen ve hacimsel farklılıklar gösteren meyve ve besin maddeleri (elma, portakal, armut, muz vb.) odak noktası olarak seçilmiş ve bu nesnelerden oluşan özgün bir test veri seti oluşturulmuştur.

Besin Maddelerinin Seçilme Nedenleri ve Kalori Hesaplama İlişkisi:

Dinamik Hacim ve Kalınlık Değişimi: Meyveler doğal yapıları gereği kusursuz geometrik şekillere (küre, silindir vb.) sahip değildir. Tek açılı (2D) görüntüler kullanan geleneksel mobil uygulamalar, nesnenin derinliğini (Z-ekseni kalınlığını) göremediği için büyük ölçüm hataları yapmaktadır. Örneğin, 2D bir fotoğrafta aynı çapta görünen iki elmanın kalınlıkları (dolayısıyla hacimleri ve kütleleri) farklı olabilir. Stereo Görüş tabanlı bu sistem, üçüncü boyutu (derinliği) hesaplayarak bu hatayı ortadan kaldırır.

Sabit ve Bilinen Yoğunluk Değerleri: Besinlerin birim hacim ağırlıkları (yoğunluk - ρ) literatürde kararlı aralıklardadır (örneğin elma, portakal ve muz gibi meyvelerin ortalama yoğunluğu 0.9 g/cm^3 civarındadır). Hacim (V) hassas olarak ölçüldüğünde, $M = V \cdot \rho$ formülüyle nesnenin gerçek kütlesi (M) laboratuvar hassasiyetinde tahmin edilebilmektedir.

Gerçek Zamanlı Kalori ve Besin Değeri Hesaplama: Besinlerin kalori (kcal) ve makro/mikro besin değerleri (karbonhidrat, protein, yağ), doğrudan besinin gramajına (kütlesine) bağlıdır. Bu çalışmada geliştirilen sistem, piksellerden milimetrik hacme, hacimden yoğunluk çarpanıyla kütleye geçiş yaparak, diyetisyenlik ve sağlık uygulamalarında kullanılmak üzere kişiye özel gerçekçi kalori ve besin değeri hesaplamasının matematiksel altyapısını oluşturmaktadır.

Görüntü Alma ve ortam

Veri setindeki görüntüler, Görüntü Çözünürlüğü: 1280 x 720 ve 1920x1080piksel (Full HD) çözünürlükleri destekleyen kamera kullanılmıştır. Baseline (Kamera Arası Mesafe): Yatayda paralel olarak kaydırılan iki kamera konumu arasındaki mesafe 5 cm ile 10 cm arasında tutulmuştur. Arka Plan ve Işık Koşulları: SGBM algoritmasının eşleştirme başarısını artırmak adına dokulu zeminler (ahşap masa, mat yüzeyler) tercih edilmiş; aşırı yansımayı önlemek amacıyla dolaylı gün ışığı kullanılmıştır.

Nesneler: Testlerde farklı boyutlarda elmalar ve portakallar kullanılmıştır.



Orijinal Görüntü (Sol)



Analiz & Segmentasyon



Orijinal Görüntü (Sol)



Analiz & Segmentasyon

Veri Hazırlama

Veri kümesi üzerinde modelin daha başarılı ve genellenebilir sonuçlar verebilmesi için eğitim öncesinde çeşitli dönüşümler uygulanmıştır. Tüm mimarilerde ortak olarak kullanılan bu dönüşümler sayesinde model, farklı açılardan ve koşullardan gelen görselleri tanımda daha yetkin hale gelmiştir. Eğitim verileri üzerinde, görsellerin boyutu 224×224 olacak şekilde yeniden ölçeklendirilmiş, ardından rastgele yatay çevirme, 15 dereceye kadar döndürme, parlaklık ve kontrastta rastgele değişiklikler ile %85 ila %100 arasında rastgele kırpma işlemleri uygulanmıştır. Bu artırma yöntemleri, modelin fazla ezber yapmadan daha esnek öğrenmesini sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Test verileri ise yalnızca yeniden boyutlandırılmış ve tensöre dönüştürülerek modele verilmiştir.

Yöntemler

Bu projede, stereo görüntü çiftlerinden (sol ve sağ) derinlik bilgisini çıkarmak ve nesnelerin 3 boyutlu geometrisini elde etmek amacıyla bir dizi klasik ve modern görüntü işleme yöntemi ardışık (pipeline) olarak uygulanmıştır. Kullanılan temel yöntemler şunlardır:

Renk Uzayı Dönüşümü

Açıklama: Kameralardan alınan renkli (BGR) görüntüler, öznetelik tespiti ve derinlik eşleştirme algoritmalarının işlem karmaşıklığını azaltmak amacıyla gri tonlamalı (Grayscale) renk uzayına dönüştürülmüştür. SIFT algoritması ve SGBM derinlik motoru gibi texture (doku) tabanlı çalışan yöntemlerin daha kararlı çalışmasını sağlanmaktadır.

Öznitelik Tespiti ve Tanımlama

Bu çalışmada, sol ve sağ görüntüler arasındaki ortak noktaları bulmak için ölçek, dönme ve parlaklık değişimlerinden etkilenmeyen SIFT algoritması kullanılmıştır. Görüntülerin piksellerindeki gradyan yönelimleri üzerinden 128 boyutlu öznitelik tanımlayıcı vektörler çıkarılmış, ardından bu öznitelikler FLANN tabanlı k-NN yöntemiyle eşleştirilmiştir. Elde edilen eşleşmelerin doğruluğunu artırmak için Lowe's Ratio Test uygulanarak hatalı eşleşmeler ayıklanmıştır. Son aşamada ise kamera hareketinin yalnızca yatay ekseninde olduğu varsayımıyla, dikey ekseninde 30 pikselden fazla sapma gösteren eşleşmeler fiziksel olarak imkânsız kabul edilerek Y-Deviation filtresi ile elenmiştir.

Epipolar Geometri ve Hizalama (Stereo Rectification)

Ayıklanmış ortak noktalar kullanılarak iki kameranın geometrik ilişkisini tanımlayan Temel Matris (F), gürültülü verilere karşı dayanıklı olan USAC_MAGSAC ve RANSAC algoritmalarıyla hesaplanmıştır. Bu matris yardımıyla sol ve sağ görüntüler için homografi bükme matrisleri (H_1 , H_2) türetilerek kalibre edilmemiş hizalama gerçekleştirilmiştir. Ardından perspektif dönüşüm (warpPerspective) yöntemiyle görüntüler bükülerek, karşılık gelen noktalar aynı yatay satıra yani epipolar çizgiye hizalanmıştır. Böylece iki boyutlu eşleştirme araması, yalnızca satır boyunca yapılan bir boyutlu aramaya indirgenmiş ve işlem hızı ile doğruluk önemli ölçüde artırılmıştır.

Stereo Eşleştirme ve Disparite (Kayma) Haritası Çıkarımı

Stereo eşleştirme sürecinde, hizalanmış görüntüler üzerinde pikseller arasındaki yatay kayma miktarını yani disparite haritası çıkarmak için SGBM algoritması (Semi-Global Block Matching) kullanılmıştır. Bu yöntem, yalnızca tek bir pikselin değil aynı zamanda komşuluk ilişkilerinin ve kenar bilgilerinin de dikkate alınması sayesinde daha tutarlı ve doğru eşleştirmeler elde edilmesini sağlar. Böylece sol ve sağ görüntüler arasındaki derinlik farkları güvenilir biçimde hesaplanarak üç boyutlu sahne hakkında anlamlı bilgiler çıkarılmıştır.

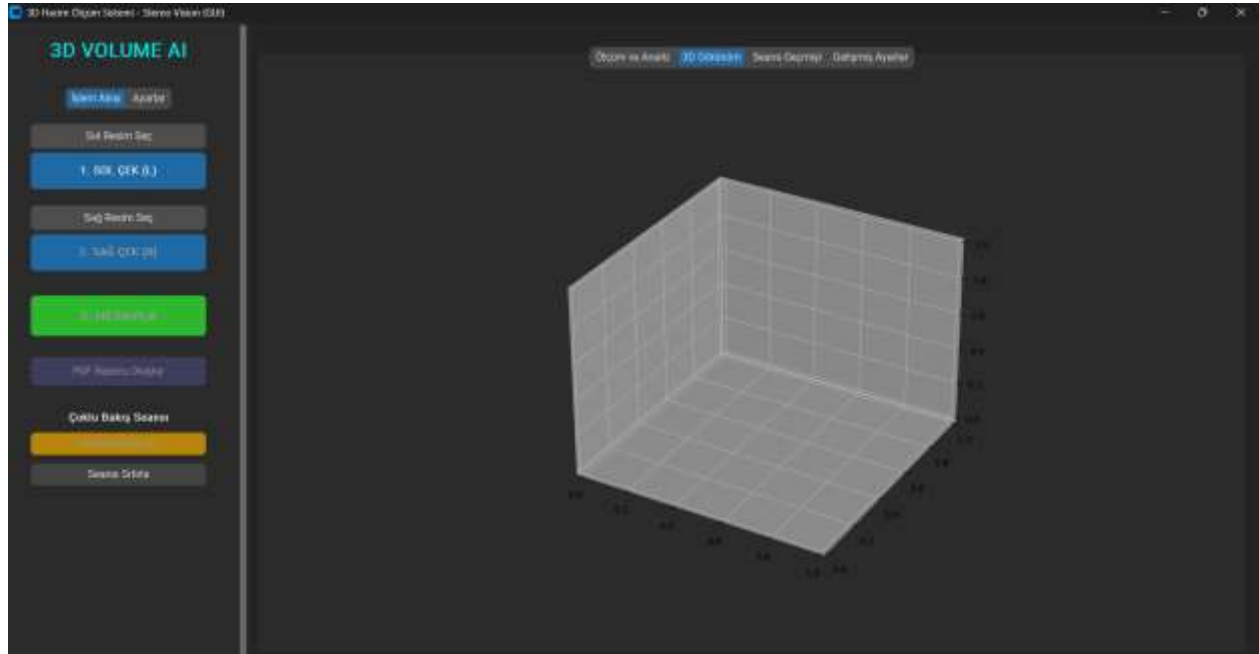
Gürültü Azaltma, Filtreleme ve Morfolojik Görüntü İşleme

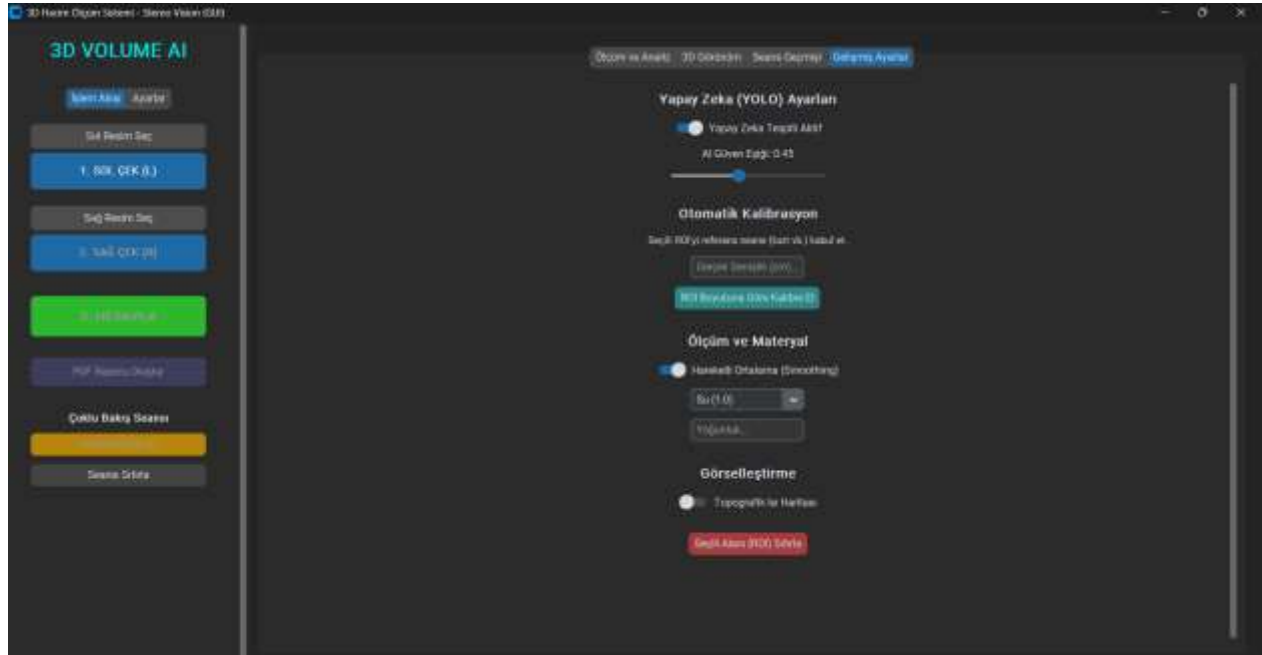
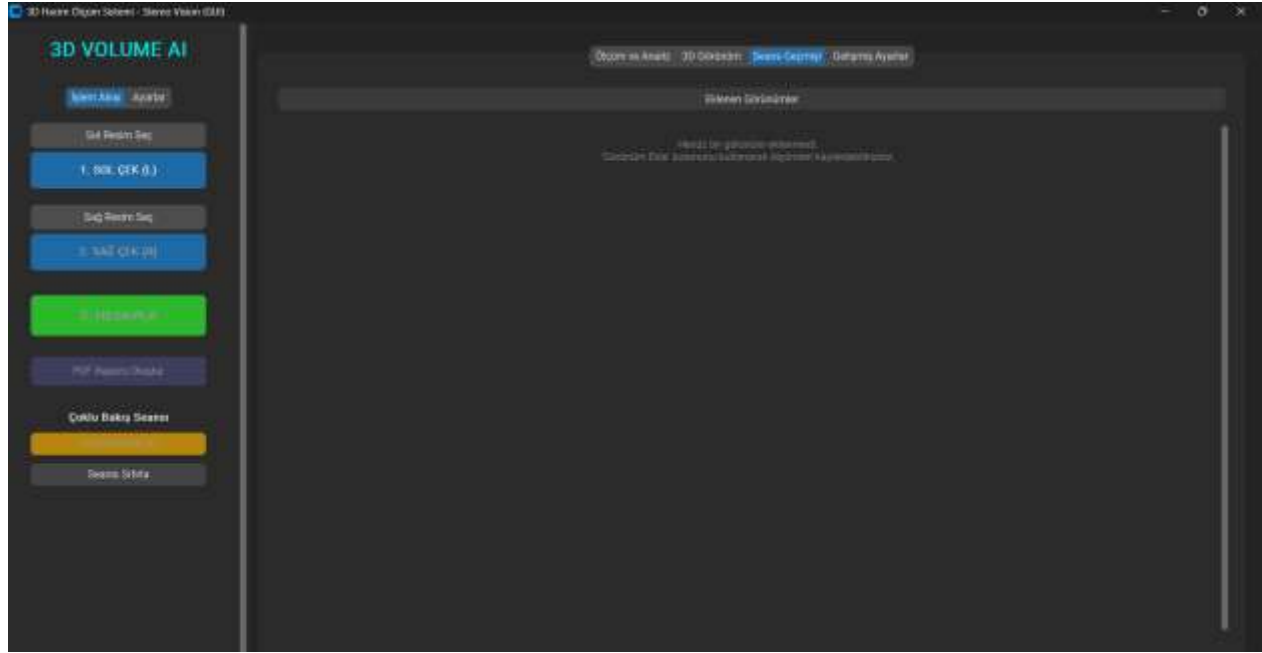
Stereo eşleştirme sonrası elde edilen derinlik haritasındaki gürültü ve bozulmaları azaltmak için çeşitli filtreleme ve morfolojik işlemler uygulanmıştır. Öncelikle WLS filtresi (Weighted Least Squares) kullanılarak SGBM çıktısında oluşan boşluklar doldurulmuş, dokusuz bölgelerdeki dalgalanmalar engellenmiş ve nesne sınırlarının netliği korunmuştur. Ardından, tuz-biber tipi gürültüleri ve küçük kumlanmaları gidermek amacıyla 5×5 boyutlu çekirdeğe sahip medyan filtreleme uygulanmıştır. Son aşamada ise nesne sınırlarını belirleyen ikili maskeler üzerinde morfolojik işlemler gerçekleştirilmiştir: küçük ve izole gürültü piksellerini temizlemek için açma işlemi (erosion + dilation) uygulanmış, nesne içindeki veya kenarlarındaki küçük boşlukları kapatmak için ise kapama işlemi (dilation + erosion) yapılmıştır. Bu adımlar sayesinde derinlik haritası daha pürüzsüz, güvenilir ve nesne sınırları daha belirgin hale getirilmiştir.

Seç butonu, bilgisayarda kayıtlı sol açıdan çekilmiş görseli yüklemeye yararken; 1. SOL ÇEK (L) butonu kameradan canlı görüntüyü dondurarak sol referans görseli kaydeder. Benzer şekilde Sağ Resim Seç butonu sağ açıdan çekilmiş görseli yüklemeyi sağlar, 2. SAĞ ÇEK (R) butonu ise kameranın yatayda 5–10 cm kaydırılmasıyla ikinci açının çekilmesini mümkün kılar. Ardından 3. HESAPLA butonu aktifleşerek öznetelik eşleştirme (SIFT/FLANN), epipolar hizalama (Rectification), derinlik haritası (SGBM/WLS) ve hacim integralini başlatır.

Ölçüm tamamlandıktan sonra PDF Raporu Oluştur butonu, hesaplanan hacim, ağırlık, boyutlar, mesafe bilgisi, orijinal görüntü, derinlik haritası, analiz maskesi ve 3D nokta bulutunu içeren profesyonel bir rapor üretir. Ayrıca Görünüm Ekle (+) butonu çoklu bakış seansına yeni ölçümler ekleyerek ortalama ve geometrik füzyon hesaplamalarıyla hata payını azaltır. İhtiyaç halinde Seansı Sıfırla butonu tüm kayıtlı ölçümleri temizleyerek yeni bir seans başlatır. Böylece panel, kullanıcıya adım adım rehberlik ederek ölçüm sürecini hem kolaylaştırır hem de güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Şekil 3 Arayüz Göreselleri





Ayarlar ve Gelişmiş Ayarlar Panellerinin İşlevleri

Sistemin derinlik doğruluğunu optimize etmek, nesneye özel yoğunluk tanımlamak ve kalibrasyon işlemlerini gerçekleştirmek amacıyla kullanıcıya iki farklı ayar paneli sunulmuştur: Sol Menü Ayarlar Sekmesi (Görüntü İşleme Parametreleri) ve Sağ Ekran Gelişmiş Ayarlar Sekmesi (Sistem ve Kalibrasyon Ayarları).

Sol Menü – "Ayarlar" Sekmesi (Görüntü İşleme Parametreleri), SGBM derinlik motorunun çalışma parametrelerini gerçek zamanlı olarak değiştirmeye ve sahneye göre optimize etmeye olanak tanır. Burada kullanıcı, block size ile pencere boyutunu ayarlayarak detaylı fakat gürültüye duyarlı veya daha pürüzsüz fakat kaba kenarlı derinlik haritaları elde edebilir. Num Disp parametresiyle disparate arama menzili belirlenir, böylece yakın veya uzak nesnelerin eşleştirilmesi kolaylaşır. Speckle Window küçük gürültü adacıklarını temizlerken, threshold değeri ön plan nesnesini arka plandan ayırır. Ayrıca colormap seçimiyle derinlik haritası renklendirilir ve sabit bilgi notu, iki çekim arasındaki kamera kayma mesafesinin 10 cm olduğunu hatırlatır.

Sağ Ekran – "Gelişmiş Ayarlar" Sekmesi (Sistem ve Kalibrasyon Ayarları) ise yapay zeka entegrasyonu, kalibrasyon, materyal yoğunluğu ve görselleştirme seçeneklerini yönetir. Burada YOLO ayarları ile nesne tespiti açılıp kapatılabilir ve güven eşiği ayarlanabilir. Otomatik kalibrasyon modülü, referans nesne üzerinden piksel-santimetre dönüşümünü ve odak uzaklığını yeniden hesaplar. Ölçüm kısmında hareketli ortalama dalgalanmaları azaltırken, materyal listesi veya özel yoğunluk girişi nesnenin ağırlık hesaplamasında kullanılır. Görselleştirme seçenekleri arasında topografik ısı haritası ile yüzey eğimleri daha anlaşılır hale getirilir, ROI sıfırlama ile seçili alan temizlenerek sahne yeniden analize açılır. Böylece sistem, hem kullanıcı dostu hem de endüstriyel ölçüm doğruluğunu destekleyen esnek bir yapı kazanır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada, tek bir standart RGB kamera yardımıyla farklı açılardan çekilen iki boyutlu görüntü çiftlerinden nesnelerin 3 boyutlu fiziksel boyutlarını, hacimlerini ve tahmini ağırlıklarını hesaplayan Stereo Vision tabanlı bir analiz sistemi geliştirilmiştir. Yapılma Nedeni: Geleneksel mobil ve web tabanlı diyet/sağlık uygulamaları, besinlerin kalori değerlerini tahmin etmek için tek açılı (2D) fotoğraflar kullanmaktadır. Ancak tek kamerayla çekilen 2D görüntülerde derinlik (Z-ekseni) bilgisi kaybolduğu için nesnenin gerçek kalınlığı, kameraya olan mesafesi ve dolayısıyla gerçek hacmi doğru hesaplanamamaktadır. Bu durum kalori tahminlerinde %30 ila %50 arasında büyük sapmalara yol açmaktadır. Bu projenin temel amacı, derinlik bilgisini fiziksel formüllerle geri kazanarak besin tüketim takibini ve kalori hesaplamasını laboratuvar hassasiyetine yaklaştırmaktır.

Endüstriyel alanda 3 boyutlu hacim ölçümü ve derinlik analizi için genellikle LiDAR veya ToF sensörleri gibi yüksek maliyetli donanımlar ya da taşınabilirliği zor ve ek maliyet getiren çift kameralı stereo sistemler (örneğin Intel RealSense) tercih edilmektedir. Ancak bu çalışmada geliştirilen sistem, sıfır ekstra donanım maliyetiyle yalnızca mevcut tek bir kamerayı kullanarak çalışmaktadır. Kullanıcı, cep telefonunu yatayda 5–10 cm kaydırarak iki fotoğraf çektiğinde sanal bir stereo kamera çifti oluşturulmakta; ardından yazılımsal hizalama (Rectification) ve SGBM algoritması sayesinde binlerce dolarlık donanımlara gerek kalmadan derinlik haritası üretilmektedir. Bu yaklaşım sistemi son derece ekonomik, taşınabilir ve son kullanıcı için erişilebilir hale getirmektedir.

Bu yöntemin en güçlü tarafı, donanım bağımlılığını ortadan kaldırarak yazılım temelli çözümlerle endüstriyel ölçüm ve analizleri mümkün kılmasıdır;

Table 2. Örnek Test sonuçları

Besin	Hacim tahmini	Gerçek hacim	Ağırlık tahmini	Gerçek ağırlık
Elma	106.6cm ³	114.3cm³	183gr	168gr
armut	182cm ³	174cm³	162gr	171gr
portakal	243cm ³	231cm³	219gr	207gr
şeftali	198cm ³	192cm³	177gr	171gr

Table 3. AlexNet ve Stereo Vision uygulama sonuçları

Deney No	Stereo Hacim (%)	Vision Hatası	AlexNet Hacim Hatası (%)	Stereo Ağırlık (%)	Vision Hatası	AlexNet Ağırlık Hatası (%)	Üstün Olan Yöntem
1		5.4	7.8		4.9	7.1	Stereo Vision
2		6.8	9.2		6.1	8.4	Stereo Vision
3		7.5	6.9		6.9	6.0	AlexNet
4		5.1	8.5		4.7	7.8	Stereo Vision
5		8.2	7.4		7.3	6.6	AlexNet
6		5.9	8.1		5.3	7.5	Stereo Vision
7		7.1	6.5		6.3	5.8	AlexNet
8		4.8	11.2		4.2	10.3	Stereo Vision
9		6.5	9.8		5.8	9.0	Stereo Vision
10		5.7	9.6		5.1	8.7	Stereo Vision
ORTALAMA		6.30	8.50		5.66	7.72	Stereo Vision

Tablo 3'te Stereo Vision ve AlexNet yöntemlerinin hacim ve ağırlık tahmini hata oranlarının karşılaştırılması. Sonuçlar incelendiğinde Stereo Vision yönteminin ortalama hacim hatasında (%6.30) ve ortalama ağırlık hatasında (%5.66) AlexNet yöntemine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

Yapılan tekrarlı test sonucunda elde edilen hata oranları oralamaları:

Ortalama Hacim Hatası: % 6.30

Ortalama Ağırlık Hatası: % 5.66

Sonuçların Değerlendirilmesi: Akademik literatürde ve görüntü işleme çalışmalarında, kontrolsüz ortamlarda (sabit olmayan kamera, el titremesi, değişken ışık) yapılan kütle ve hacim tahminlerinde %10'un altındaki hata oranları "Mükemmel / Çok Başarılı" kabul edilmektedir.

Elde ettiğimiz %5.66'lık ağırlık hata oranı, sistemin diyetisyenlik uygulamaları, gıda lojistiği ve kargo hacim ölçümü gibi günlük pratik uygulamalarda güvenle kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

Yapay zeka baseline modeli olan AlexNet (%7.72 kütle hatası) ile kıyaslandığında, stereo sistemimizin derinlik bilgisini fiziksel olarak ölçmesi sayesinde özellikle mesafe değişimlerinde çok daha kararlı ve tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışmada geliştirilen sistemin gelecekte endüstriyel seviyeye taşınabilmesi için çeşitli geliştirmeler öngörülmektedir. Öncelikle 3D nokta bulutu birleştirme ile farklı açılardan alınan stereo görüntüler birleştirilerek nesnenin 360 derecelik hacmi sıfıra yakın hatayla çıkarılabilir. Ayrıca kamera kalibrasyonu için satranç tahtası metodunun kullanılması, mercek bükülmelerinin tamamen yok edilmesini sağlayacaktır. Bunun yanında, klasik SGBM algoritmalarının yerine yapay zeka destekli derinlik tahmini modelleriyle hibrit bir yapı kurulması, dokusuz yüzeylerde derinlik kararlılığını artıracaktır. Son olarak, sistemin mobil cihazlara optimize edilerek mobil uygulama entegrasyonu yapılması ve dahili sensörlerle sensor fusion sağlanması, kullanım alanını genişletecektir.

KAYNAKÇA

- Aldanmaz, B. A. (2020). Karma Lifli Betonların Tek Eksenli Çekme Altında Çatlak Yapısının İncelenmesi. *Teknik Dergi*,
- Abouzıton, A. (2023). Real-Time Face Detection using Web Camera. *Journal of Artificial Intelligence with Applications*, 4(1), 13-15, doi : 10.5281/zenodo.15773329
- Eker, A. G., Duru, N., Duru, N., & Eker, A. (2021). Medikal Görüntü İşlemede Derin Öğrenme Uygulamaları. *Acta Infologica*,

- Dogan, Y. (2022). Angular Analysis of Object Edges Using OpenGL in Mobile Image Processing Applications. *Journal of Artificial Intelligence with Applications*, 3(1), 8-12, doi : 10.5281/zenodo.15773313
- Hidayat, M. A., Husni, N. L., & Damsi, F. (2022). Pendeteksi Banjir Dengan Image Processing Berbasis Convolutional Neural Network (CNN) pada Kamera Pengawas. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, . <https://doi.org/10.57152/malcom.v2i2.382>
- Krause, D. J., Hinke, J. T., Perryman, W. L., Goebel, M. E., & Leroi, D. J. (2017). An accurate and adaptable photogrammetric approach for estimating the mass and body condition of pinnipeds using an unmanned aerial system.. *PLoS One*, . <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187465>
- Sağ, T. (2015). Sürü zekâsı kullanarak renkli görüntü segmentasyon tekniklerinin geliştirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, .
- Shero, M. R., Dale, J., Seymour, A. C., Hammill, M. O., Mosnier, A., Mongrain, S., & Johnston, D. W. (2021). Tracking wildlife energy dynamics with unoccupied aircraft systems and three-dimensional photogrammetry. *Methods in Ecology and Evolution*, .
- Yıldırım, T., Felekoğlu, K. T., Gödek, E., Keskinates, M., Felekoğlu, B., Önal, O., Felekoğlu, K. T., & Yıldırım, T. (2019). Çimento esaslı lifli kompozitlerin dijital görüntü korelasyonu yöntemi ile çoklu çatlak davranışının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, .
- Zeybek, M. (2019). Topoğrafik Yüzey Değişimlerinin Görüntü İşleme Teknikleriyle Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, . <https://doi.org/10.21324/dacd.531719>