



# Zeytin Ağaçlarının Otomatik Tespiti, Dijital Kimliklendirilmesi ve Akıllı Takibi

## Automatic Detection, Digital Identification, and Intelligent Monitoring of Olive Trees

Kübra Şahin<sup>1</sup>, Tayfun Akgül<sup>1,2</sup>, Melike Girgin<sup>2</sup>

 0009-0006-3084-5997  0000-0002-5164-5736  0009-0006-0659-3515

<sup>1</sup>ArtGe Teknoloji, İTÜ ARI Teknokent, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

shnkubra20@gmail.com, tayfunakgul@itu.edu.tr, girginm20@itu.edu.tr

### Özet

Zeytin ağaçlarının dron ve uydulardan otomatik tespiti, her ağacın dijital kimliklendirilmesi ve ürün takibinin kolaylaştırılması çalışması İzmir ili, Belevi ilçesindeki iki zeytin arazisinde pilot uygulama ile hayata geçirilmiştir. Arazilerde, dron ile video ve fotoğraf çekimleri yapılmış; termal-optik görüntüler ve mobil cihazlardan GPS kayıtları alınmıştır. Bu verilerle YOLOv8 tabanlı bir zeytin ağacı tespit modeli eğitilmiş, drondan elde edilen görüntülere uygulanmıştır. Dron görsellerinden her bir ağacın konumunun tespiti için geometrik yöntem geliştirilmiş, elde edilen konum kestirimleriyle uydu verileri karşılaştırılmıştır. Binden fazla zeytin ağacı için QR kodlar hazırlanmış, her bir ağaca çakılmış, CBS ve web arayüzüyle ilişkilendirilmiştir. Bu pilot çalışmanın genişletilmesiyle ülke bazında tüm meyve ağaçlarına dijital kimlik kazandırabilecek bir ağı oluşturulması, böylelikle üretimden tüketime gürbüz takip zincirinin kurulması mümkün kılınabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Ağaç Tespiti, Akıllı Tarım, Coğrafi Konum Belirleme, Dron, Erken Tespit, Uydu, YOLO, Zeytin Ağacı.

### Abstract

This study presents the automated detection of olive trees from drone and satellite images, the estimation of their true locations, and the digital identification of individual trees using QR codes. The pilot implementation was carried out in two olive fields with more than one thousand trees in the Belevi district of İzmir. Drone-based video and photo recordings were collected in these fields, along with thermal-optical images and GPS data from mobile devices. Using collected dataset, a YOLOv8-based olive tree detection model was trained and applied to the drone images. A geometric method was developed to determine the position of each tree from both drone and satellite images. QR codes which were generated and attached to each olive tree, were linked to a GIS and a web interface. This pilot study may enable to create: i-) a nationwide network capable of assigning digital identities to all fruit trees, ii-) a robust traceability chain from production to consumption.

**Keywords:** Tree Detection, Smart Agriculture, Geolocation, Drone, Early Detection, Satellite, YOLO, Olive Tree.

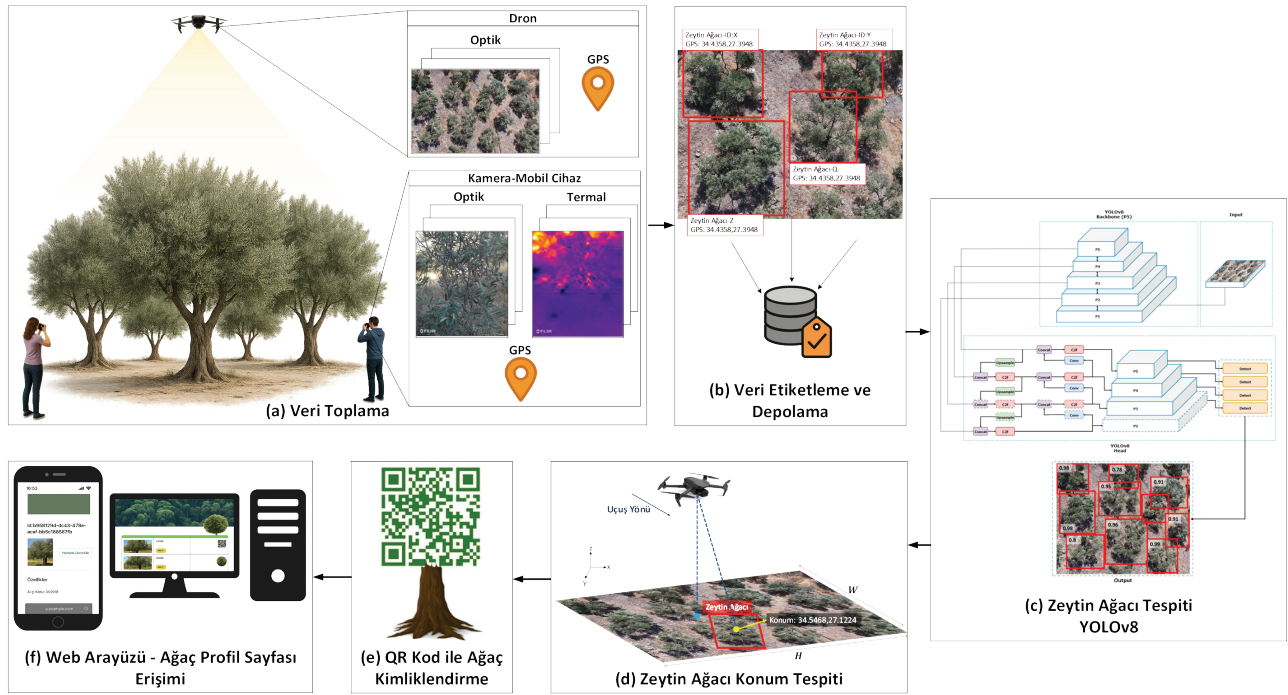
### 1. Giriş

Tarımsal üretimde verimliliğin ve ürün kalitesinin artırılması amacıyla son yıllarda akıllı tarım uygulamaları yaygınlaşmıştır [1, 2]. Meyve ağaçlarının gelişim süreçlerinin izlenmesi, hastalıkların erken tespiti ve verim tahmini gibi uygulamalar, uydu ve insansız hava araçları (İHA, dron) ile çekilen yüksek çözünürlüklü görüntüler ve yapay zekâ tabanlı analiz yöntemleri tarımda yaygın kullanım evresine ulaşmıştır [3, 4].

Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı tarım ve ormancılıkla ilgili yeni teknolojileri izleme ve geliştirmede yetkili kurumdur. Yakın zamanda bakanlık tarafından yayımlanan (küçük çapta destek de verdiğimiz) “IV. Tarım Orman Şûrası Sonuç Bildirgesi”de (67–71. maddeler) öncelikli hedefler arasında tarımda dijitalleşme, ürün bazlı tarımsal takip, İHA ve dron kullanımını yaygınlaştırma gibi konular listelenmiştir [5].

Akıllı görüntü işleme yöntem ve yordamlarıyla artık her bir ağacın tek tek algılanması, taç (crown) geometrisinin çıkarımı ve iki boyutlu (2B) görüntülerden üç boyutlu (3B) modellerinin üretilmesi mümkündür [6–8]. Multi-spektral kameralar ve 3B ağaç modelleri ile taç yüksekliği, odun hacmi ve biyokütle gibi önemli parametrelerin tahmini yapılabilmektedir [8]. Sonuçta uydu verileri ve makine öğrenmesi yöntemleriyle verim tahmini yapılabilirken [9], ağaç ve meyve düzeyinde detaya inilmeye teşebbüs edildiğinde bu görüntülerindeki kısıtlar nedeniyle dronlardan yararlanılmaktadır. Bunlarla toplanan optik, hiperspektral kamera vasıtasıyla ağaçların tespiti, sınıflandırılması ve GPS verileriyle de harita üzerinde konumlandırılması yaygınlaştırılmaktadır [10].

Nesnelerin konumlarını ve 3B modellerini çıkaran fotogrametrik yöntemlerle beraber bitki sağlığına ait sayısal ölçütlerin (vejetasyon indislerinin) de kullanılmasıyla verim tahmininde gürbüz sonuçlar elde edilebilmektedir [11, 12]. Örneğin, taç geometrisine dayalı verim tahmin yöntemleri, sahada fiilen



Şekil 1. Akış Diyagramı: (a) Zeytin ağaçlarına ait veriler dron ve mobil cihazlarla toplanır. (b) Toplanan veriler etiketlenir ve veritabanına aktarılır. (c) Zeytin ağacı tespiti için YOLOv8 tabanlı model eğitilir. (d) Tespit edilen ağaçların konumları hesaplanır. (e) Her bir ağaç için özel oluşturulan QR kodlar ağaçlara yerleştirilir. (f) QR kodun taranmasıyla web arayüzü üzerinden ağaç hakkında bilgilere erişim sağlanır.

yapılan ölçüm verileriyle karşılaştırıldığında yakın değerlere ulaşabilmektedir [13, 14]. Dron görüntüleri ve akıllı tarım uygulamaları, meyve ağaçlarında ürün ve ağaç zayıflığına yol açabilecek hastalık (ör. *Xylella fastidiosa*) veya yangın gibi afet tespitinde de kullanılmaktadır [15, 16].

Uydu ve dronlardan farklı zamanlarda toplanan görüntüler ile bunlara ait GPS verileri Coğrafi Bilgi Sistemine (CBS/GIS – Geographic Information Systems) aktarılmaktadır. Akıllı tarım uygulamalarıyla da elde edilen meyve ağaçlarına ait çeşitli (gübreleme, toprak ve yaprak analizleri, hastalık, verim, vs.) bilgilerin CBS'e girilmesiyle geniş ölçekli alanların izlenmesi yanında tek bir ağacın öznelikleri de takip edilebilmektedir. Ezcümle, CBS sistemleri ile akıllı tarım uygulamalarının birlikte kullanımı hem ağaç zayıflıklarının belirlenmesi hem de yeniden dikim ve/veya rehabilitasyon çalışmalarının planlanması açısından önem taşımaktadır [8, 9, 15].

Çalışmamızda, meyve ağaçlarının gelişim süreçlerini izlemek ve tarımsal üretimde kalite ile verimliliği artırmak amacıyla iki yakın (kuş uçuşu 2 km uzaklıkta) zeytin arazisinde:

- i) Dron vasıtasıyla ağaçlara ait görseller ve GPS verileri toplanmış;
- ii) Her ağaca ait optik ve termal kamera görselleri ve



Şekil 2. Saha çalışmalarını gerçekleştirdiğimiz İzmir'in Belevi bölgesindeki araziler. (Uydu görüntüsü Google Earth Pro'dan alınmıştır [17].)

- iii) mobil cihazlarla GPS bilgileri saha çalışmalarıyla kaydedilmiş;
  - iv) Elde edilen veriler GPS sistemine aktarılmış;
  - v) Bir web sitesi geliştirilerek paylaşılmış;
  - vi) Ağaçların otomatik tespiti için özel YOLO modeli ve coğrafi konumlandırılmasına yönelik algoritma geliştirilmiş;
  - vii) Her bir ağacın dijital kimliklendirilmesi yapılarak üretilen QR kodlar ağaçlara çakılmış;
  - viii) Arazide QR kod okutulurken web arayüzü ile ağaç bilgilerine erişim sağlanmıştır.
- Tüm sistemin akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmektedir.

İzmir'in Selçuk ilçesine bağlı Belevi köyündeki iki zeytin arazisi Şekil 2'deki haritada işaretlenmiştir. Bu iki arazi Google Earth ve ArcGIS uydu görüntüleri üzerinden incelendiğinde nispeten düşük çözünürlüklü görüntüler elde edilmiştir. Dolayısıyla bu veriler ağaçların otomatik tespiti ve coğrafi konumlandırılması için yetersiz kalmış daha yüksek çözünürlüklü veriye ihtiyaç duyulması nedeniyle dron uçuşları yapılmıştır.

Bölüm 2'de akıllı tarım sistemimize ilişkin yöntem, Bölüm 3'te araştırma sonucunda elde edilen bilgilere 4. Bölüm'de ise gelecek çalışmalara değinilmiştir.

## 2. Yöntem

Bu bölümde i) dron, termal-optik kamera ve mobil GPS verilerinin toplanması ve depolanması; ii) zeytin ağaçlarının tespiti ile diğer tür ağaç ve bitkilerden ayrıştırılması; iii) tespit edilen zeytin ağaçlarının yaklaşık  $\pm 4$  m doğruluk ile konumunun hesaplanması; iv) QR kod uygulaması ile ağaç kimliklendirme çalışmaları sunulmaktadır.

### 2.1. Veri Toplama ve Depolama

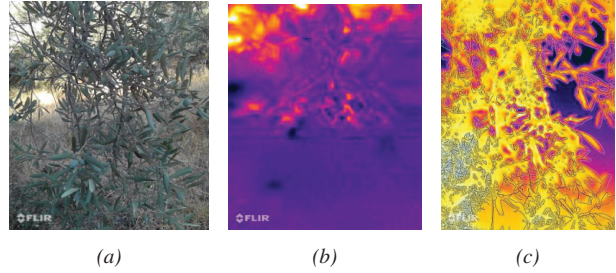
Çalışmamızda zeytin ağaçlarına ait termal-optik görüntüler ve GPS verileri dron, mobil cihazlar, termal ve optik kameralar vasıtasıyla elde edilmiştir. Bu veriler Coğrafi Bilgi Sistemi'ne (CBS) aktarılmış ve geliştirilen web sitesinde işlenmiştir. Zeytin ağaçlarının gelişimini izlemek amacıyla planlanan bu veri toplama süreci zeytin meyvesinin gelişim evreleri (dinlenme, tomurcuklanma, meyve gelişimi, çekirdeğin sertleşmesi, meyvenin büyümesi, olgunlaşma ve hasat dönemleri) gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Örneğin çiçeklenme dönemine ait bir görüntü Şekil 3'te görüldüğü gibidir.



Şekil 3. Çiçeklenme evresi saha çalışmalarından görsel. (Bu görsel IEEE Spectrum'da projeye ilişkin bilgilerin yer aldığı haberde yayınlanmıştır [18].)

Zeytin ağaçlarının fotoğrafları *Insta360 X3* ve *GoPro HERO12 Black* kameralarıyla arazide çekilmiştir. Ayrıca,

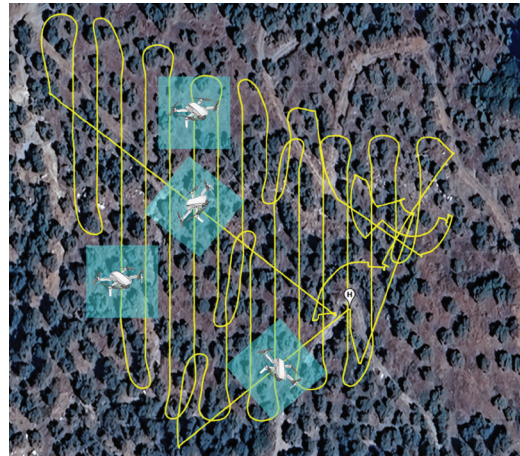
tek bir çekimde optik (Şekil 4(a)), termal (Şekil 4(b)) ve hibrit (Şekil 4(c)) görüntü üreten çift sensörlü *FLIR One Pro LT iOS* kamera kullanılmıştır.



Şekil 4. FLIR One Pro cihazı ile elde edilen görüntüler. (a) FLIR One Pro optik görüntüsü. (b) FLIR One Pro termal görüntüsü. (c) Optik ve termalin harmanlanmış görüntüsü.

*DJI Mavic 3 Pro* model drona ait yüksek çözünürlüklü kamera vasıtasıyla arazinin hem video hem de fotoğraf kayıtları alınmış, konum hesaplamaları için kamera  $90^\circ$  açığa (zemini dik görecektir şekilde) ayarlanmıştır. Arazi eğimi ve ağaç yoğunluğu nedeniyle zaman zaman sorunlar yaşanmış, uçuşlar manuel tamamlanabilmiştir. Bu gibi durumlarda otomatik uçuş yüksekliği de yaklaşık 20-30 m aralığında tutulmuştur. Örnek bir uçuş rotası Şekil 5'te uydu görüntüsü üzerinde gösterilmektedir.

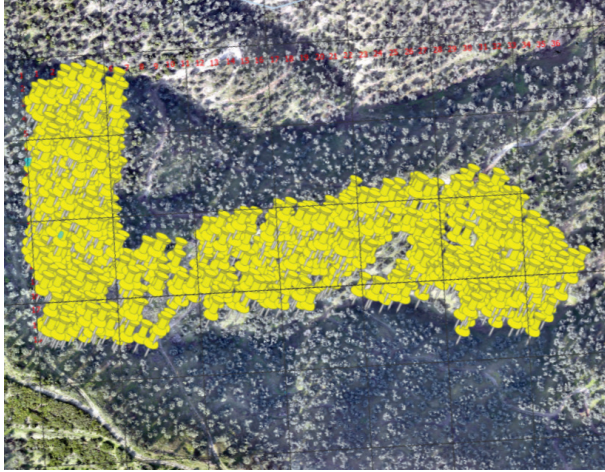
Toplanan videolar tek tek karelerine ayrılmış ve zeytin ağaçları *Roboflow* platformu kullanılarak etiketlenmiştir [19]. Etiketleme aşamasında yalnızca zeytin ağaçları işaretlenmiş, diğer bitkiler arka plan kategorisinde tanımlanmıştır.



Şekil 5. Zeytinlik üzerinde veri toplama sırasında dronun uçuş rotasına ait örnek görsel. Sarı çizgi uçuş yolunu, dron ikonları ve mavi kareler ise ilgili noktadaki video karelerinde çekilen alanı göstermektedir. (Uçuş rotasını ve araziye gösteren görsel Airdata'dan alınmış [20], dron ikonu ve mavi video kareleri sonradan eklenmiştir.)

Dron verileri ArcGIS sistemine entegre edilerek

detaylı haritalar üretilmiş, arazi sınırları işaretlenmiş ve her ağacın GPS konumu işlenmiştir. Şekil 6'da bu noktalar sarı renkle gösterilmiştir.



Şekil 6. ArcGIS uydu görüntüsü üzerine işlenmiş dron verileri ve işaretlenmiş ağaç konumları. (Görsel ArcGIS aracılığıyla hazırlanmıştır [21].)

Konum verileri *Earth Maps* (EM) mobil uygulaması [22] ile kaydedilmiş; her ağacın enlem, boylam, yön ve rakım bilgileri saptanarak arazideki tüm ağaçlar haritaya işlenmiştir.

## 2.2. Zeytin Ağacı Tespiti

Zeytin ağacı tespiti için YOLOv8 nesne tespit algoritması tercih edilmiştir. YOLO türündeki bir modelin seçiminin temel nedeni yakın gelecekte gerçek zamanlı çalışmaların gürbüz yapılabilmesi amacıyla [23]. Yukarıda özetlenen veri toplama ve depolama sürecinde etiketlenen 3318 ağaç görseli model eğitimi için kullanılmıştır. Bu eğitim *NVIDIA RTX4050 GPU* üzerinde 100 epok boyunca sürdürülmüştür. Modelin performansı Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall) ve mAP metrikleri ile ölçülmüştür. Modelin tahmin ettiği nesnelere doğru tespitlerin oranını ifade eden kesinlik  $P = TP/(TP + FP)$  şeklinde hesaplanmıştır. TP doğru pozitifleri, FP ise yanlış pozitifleri göstermektedir. Görüntüde model tarafından doğru tespit edilen gerçek nesnelere oranı, duyarlılık  $R = TP/(TP + FN)$  ile tanımlanmakta olup FN yanlış negatifleri göstermektedir. Ortalama Kesinlik (mAP) metriği, modelin farklı IoU (Intersection over Union) eşiklerinde nesne tespit başarısını ölçmektedir. mAP@50, tahmin edilen kutuların en az %50 örtüşme sağladığı durumda hesaplanan ortalama kesinliği ifade etmektedir. Dron görüntüleri üzerinde model doğruluğu hesaplanarak elde edilen performans metrikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: Zeytin ağacı tespit modeline ilişkin performans sonuçları.

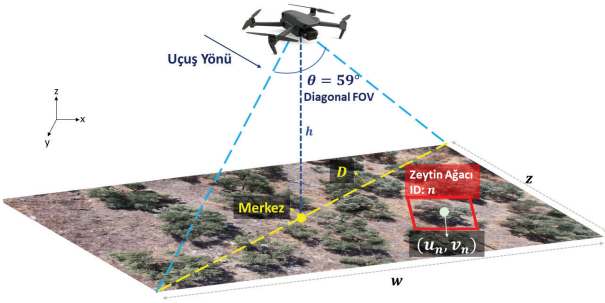
	Kesinlik	Duyarlılık	mAP@50
Model	0.83	0.77	0.86

## 2.3. Ağaç Konum Hesaplama

Bu bölümde, YOLOv8 modeliyle tespit edilen zeytin ağaçlarının coğrafi koordinatlarının gürbüz hesaplanması için [24]'da kullanılan geometrik yaklaşım ele alınmaktadır. Dron videoları, uçuş sırasında kaydedilen GPS verileri [20] ve kameraya ait temel parametreler hesaplamalarda kullanılmaktadır. Şöyle ki, her arazi için planlanan otomatik uçuş rotaları üzerinden video kayıtları gerçekleştirilir; kayıt sırasında dronun uçuş yüksekliği  $h$ , kameranın diyagonal görüş açısı  $\theta$  ve kuzeye göre uçuş yönünü belirten pusula açısı  $\gamma$  saklanır. Dron kamerasının diyagonal görüş açısı ve uçuş yüksekliği dikkate alınarak yerdeki izdüşüm ve görüntü merkezine ait görsel Şekil 7'de verilmektedir [25, 26]. Burada görüntü genişliği  $w$ , görüntü yüksekliği  $z$  ile gösterilmiştir. Şekil 7'de tespit edilen  $n$ -inci ağacın görüntü düzlemindeki piksel koordinatları  $(u_n, v_n)$  ve çerçevenin merkezi  $(w/2, z/2)$  iken  $n$ 'inci ağaca ait görsel (relative) piksel değerleri  $x_n = u_n - w/2$ , ve  $y_n = v_n - z/2$  şeklinde tanımlanır. Böylece ağaç merkezinin görüntü merkezine göre yatay ve düşey eksenlerdeki uzaklığı piksel cinsinden ifade edilir. Bu bileşenlerin Öklid normu  $d_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2}$  ifadesiyle tek bir büyüklük hâline getirilir [24]. Piksel cinsinden elde edilen bu uzaklığın fiziksel karşılığı için  $n$ 'inci ağaç ile dron izdüşümü arasındaki mesafe  $D_n = d_n D/\sqrt{w^2 + z^2}$  şeklinde hesaplanır. Burada görüntü köşegeninin yerdeki izdüşüm uzunluğunu  $D = h \tan\theta$  temsil eder ve uçuş yüksekliği ile kameranın diyagonal görüş açısına bağlıdır [25]. Böylece  $d_n$  değeri, çerçevenin köşegen uzunluğu  $\sqrt{w^2 + z^2}$  ile orantılanarak ölçülen ve  $D_n$  metre cinsinden bir zemin uzaklığına dönüşür.

Bir sonraki aşamada,  $x_n$  ve  $y_n$  bileşenleri dron pusula açısı ile birlikte değerlendirilir ve ağaç merkezinin dron izdüşümüne göre konumu düzlem üzerinde bir doğrultu  $\beta$  ile temsil edilir. Bu doğrultu, dronun anlık GPS konumu  $(\lambda_c, \phi_c)$  ve Dünya'nın yarıçapı ( $R \approx 6371000$  m) bilgileriyle birlikte kullanılarak, enlem değişimi  $\Delta\lambda = D_n \cos(\beta)/R$  ve boylam değişimi  $\Delta\phi = D_n \sin(\beta)/R \cos(\lambda_c)$  hesaplanır. Değişimlerin, dronun anlık konumuna  $(\lambda_c, \phi_c)$  eklenmesiyle her bir ağacın coğrafi koordinatlarına ait enlem  $\lambda_n = \lambda_c + \Delta\lambda$  ve boylam  $\phi_n = \phi_c + \Delta\phi$  değerleri bulunur. [24–26].

Dron ile taranan arazilerde kaydedilen video kareleri sırasıyla işlenir. Her karede tespit edilen ağaçlara ait konum hesaplanır. Her ağaç için Google Earth



Şekil 7. Dron kamerasının diyağonal görüş açısı ( $59^\circ$ ) ve uçuş yüksekliği ( $h$ ) dikkate alınarak yerde oluşan izdüşüm ve merkez noktası şematik gösterilmektedir. Burada  $w$  görüntü genişliği,  $z$  yüksekliğidir.

ve CBS yazılımlarına doğrudan aktarılabilecek şekilde konum verisi üretilir. QGIS ve ArcGIS tabanlı araçlar kullanılarak [27–29] arazi sınırları ve ağaçların dağılımı harita üzerinde gösterilir.

Zeytin arazilerinden alınan yeni kayıtlarda ağaçların coğrafi konum kestirimleri Google Earth uydu verileriyle karşılaştırılmıştır. Önceki çalışmalardakine [24] benzer şekilde  $\pm 4$  m sapma ile ağaç konum kestirimi yapılabilmektedir. Bu durumun GPS hassasiyeti, uçuş yüksekliği ve uydu verisinin çözünürlüğü türünden dış etkenlerden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

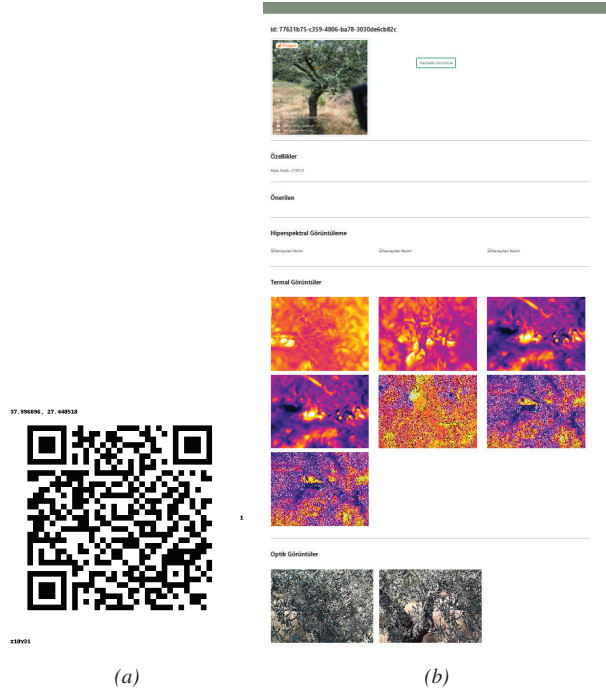
Şekil 8’de bir video karesindeki ağaç tespiti ve hesaplanan coğrafi konum çıktısı gösterilmiştir. Saptanan her zeytin ağacı yeşil kutu ile çerçevelenmiş, kutu kenarlarına o ağaca ait hesaplanan koordinatlar eklenmiştir. Böylece dronla taranan zeytin arazilerinde ağaç tespiti ve her bir ağacın konum bilgisinin otomatik kaydı tek bir iş akışı içinde gerçekleşmekte ve zeytinlik ölçeğinde ayrıntılı bir konumsal envanter üretimi mümkün kılınmaktadır [24].



Şekil 8. Video karelerinden birinde gerçekleştirilen ağaç tespiti ve coğrafi konumlandırma sonuçları. Tespit edilen her bir zeytin ağacı yeşil kutularla gösterilmiş, kutuların üzerinde hesaplanan coğrafi koordinatlar verilmiştir.

#### 2.4. QR Kod Uygulaması ile Ağaç Kimliklendirme

Dijital kimliklendirme, önceki çalışmalarımızda tasarlanan sistem yapısı gözetilerek gerçekleştirilmiştir [30]. Sahaya inmeden uydu görüntülerinden belirlenen (1000+) ağaçların konum ve kimlik bilgileri, geliştirilen *ArıArge* web sitesi üzerinden (<https://ariarge.com/profile/1/>) veri tabanına aktarılmıştır. Her kayıt için farklı bir ağaç numarası atanarak karşılık düşen QR kod üretilmiştir. Örnek bir QR kod Şekil 9(a)’da, kod tarandıktan sonra açılan dijital profil sayfası ise Şekil 9(b)’de gösterilmiştir. Profil sayfaları; her ağaç için konum bilgisi, görsel kayıtlar ve saha notlarını aynı arayüz altında toplamış, dönemsel güncellemelerin ve yeni veri girişlerinin kolayca yapılabilmesini sağlamıştır.



Şekil 9. (a) Her ağaca özel üretilen bir QR kod örneği. (b) QR kodun taranmasıyla erişilen ağaca ait dijital profil sayfası.

Üretilen QR kodlar metal plakalar üzerine basılmış ve Şekil 10’da görüldüğü gibi ağaç gövdelerine (yaklaşık aynı yükseklik ve aynı yöne bakacak şekilde) çakılmıştır [30]. QR kod montajı sırasında her ağacın fotoğrafı tekrar çekilmiş, QGIS mobil uygulaması kullanılarak GPS verileri güncellenmiştir. Uygulama üzerinden senkronize edilen noktalar KML formatındaki dosyaya dönüştürülerek web arayüzüne aktarılmıştır [27–29]. Sonuçta, CBS ortamındaki ağaç konumları ile QR kodlar eşleştirilmiştir.

QR kod tabanlı çözümler, gıda üretim zincirinin farklı aşamalarında kayıt zinciri sunabilmektedir [31]. Çalışmamızda farklı zaman dilimlerinde gerçekleştirilen



Şekil 10. QR kod çakma işlemimiz ve dijital kimlikli bir ağaç görüntüsü.

işlemler sonucunda elde edilen (yaprak testi sonuçları, budama tarihleri vb) bilgiler kayıt zinciri halinde arşivlenmektedir. Bu kayıtlar, ileride yürütülecek verim kestirimi, hastalık değerlendirmesi ve enerji planlaması ve benzeri çalışmalar için artık "tam gerçek" (ground truth) kümesi niteliğindedir. Örneğin, yaprak testi için seçilen ağaçlara ait yaprak örnekleri, QR kod ile kayıt altına alınarak arazinin farklı (ışık, konum gibi) koşullarını temsil edecek biçimde toplanmıştır. Laboratuvar analiz sonuçları CBS üzerinde Şekil 11'de mavi noktalarla işaretlenmiştir.



Şekil 11. Yaprak testi için numune alınan ağaçların konumları. (Görsel ArcGIS aracılığıyla hazırlanmıştır [21].)

### 3. Sonuç

Bu çalışma ile zeytin ağaçlarının dijitalleştirilmesi ve tarımsal yönetim süreçlerinin iyileştirilmesine yönelik CBS, dron görüntüleri, GPS verileri, termal ve optik görüntüler ile yapay zekâ tabanlı analiz yöntemlerini bütünleştiren bir sistem geliştirilmiştir. Sahadaki her bir zeytin ağacı tek tek tespit edilmiş, coğrafi koordinatları hesaplanmış ve QR kodlar aracılığıyla dijital kimliklendirme gerçekleştirilmiştir. Yalnızca ağaçların kaydı değil, aynı zamanda gelişim süreçlerinin ve verimliliklerinin uzun vadeli takibi

mümkün kılınmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen temel çıktıları şu şekilde özetlenebilir: i-) Arazi sınırları ve ağaç konumları CBS üzerinde belirlenmiştir. ii-) 1000+ ağaç QR kodlarla kendine has dijital kimliğe kavuşturulmuştur. iii-) Web tabanlı arayüz üzerinden uzaktan erişim ve izleme imkânı sağlanmış, ayrıca yaprak testi, budama, gübreleme, ilaçlama gibi veriler ağaçların QR kodları vasıtasıyla kolaylıkla arşivlenmiştir. iv-) Dron görüntülerinden ağaç tespiti 0.83 kesinlik, 0.77 duyarlılık ve 0.86 mAP@50'ye ulaşmıştır. v-) Konum hesaplamasını bütünleştiren bir algoritma geliştirilmiş, ortalama  $\pm 4$  m hata düzeyinde koordinat hesaplamaları yapılabilmektedir. v-) Sistem, gelecekte erken uyarı ve izleme modüllerinin geliştirilmesi için altyapı sağlamaktadır.

Literatürde yer alan çalışmalar ve çalışmamıza ait karşılaştırmaların yer aldığı Tablo 2 incelendiğinde, çoğu araştırmanın ya yalnızca ağaç segmentasyonu ve sınıflandırma üzerine odaklandığı ya da verim tahmini gibi tekil analizler gerçekleştirdiği görülmektedir. Derin öğrenme tabanlı nesne tespiti uygulayan çalışmalar mevcut iken, bu çalışmaların büyük çoğunluğunda coğrafi konum hesaplama, sahada doğrulama ve dijital kimliklendirme entegrasyonu bulunmamaktadır.

İleriki çalışmalarda, daha hassas konum bilgisi sağlayan gelişmiş GPS çözümlerinin kullanılması, dron görüntülerinin farklı mevsim ve ışık koşullarıyla zenginleştirilmesi, ağaç tespit modellerinin geniş veri kümeleriyle genellenmesi ve zeytin ağacı dışında diğer meyve türlerine uyarlanması da hedeflenmektedir.

### Teşekkür

Bu çalışma *EPICS in IEEE*, ArtGe Teknoloji ve ITU ARIS LAB tarafından "Smart Monitoring of Fruit Trees: The Case of Olive Trees" projesi kapsamında, Nisan 2024-Nisan 2025 tarihleri arasında desteklenmiştir. Projeye katkılarından dolayı Uysal Demirci, Prof. Dr. Himmet Karaman, Prof. Dr. Saif alZahir, Eren Taha Yüzgeç ile Abdurrahman ve Abdurrahim İşmuratlar'a teşekkür ederiz.

### Kaynaklar

- [1] N. Abdullah, N. A. B. Durani, M. F. B. Shari, K. S. Siong, V. K. W. Hau, W. N. Siong, and I. K. A. Ahmad, "Towards smart agriculture monitoring using fuzzy systems," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4097–4111, 2021.
- [2] K. Jha, A. Doshi, P. Patel, and M. Shah, "A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 2, pp. 1–12, 2019.
- [3] G. Erdoğan and S. Şahin, "Kırsal kalkınmada mekânsal model akıllı köy kümeleri: Datça örneği,"

Tablo 2: Ağaçlara yönelik uzaktan algılama tabanlı çalışmaların karşılaştırılması.

Kaynak	Amaç	Platform	Sensör	Temel Yöntem	Tespit / Sınıflandırma Performansı	Konum Doğruluğu	QR
[7]	Arazi örtüsü haritalama ve ağaç sınıflandırma	İHA (senseFly eBee Plus)	RGB	Makine Öğrenmesi (RF, SVM, MLP, kNN)	RF AP $\approx$ %95 (alan düzeyi)	–	✗
[8]	Bireysel ağaç karakterizasyonu ve izleme	İHA (DJI Matrice 210)	RGB + Multispektral	Multispektral + 3B Nokta Bulutu, K-means	–	< 3 cm RMSE (Hizalama hatası)	✗
[9]	Erken verim tahmini	Uydu (Landsat7-8)	Multispektral (Uydu)	SVM, RF, YSA, Vejetasyon İndisleri	Erken Verim Tahmini MAE: < %26	–	✗
[10]	Bireysel ağaç tespiti ve tür sınıflandırması	İHA (Tarot 960 heksakopter)	Hiperspektral + RGB + İrradiyans sensörü + Spektrometre	Yerel Maksima Tespiti, RF ve MLP	Genel Doğruluk: %95, F-skoru: 0.93	–	✗
[11]	Ağaç sırası hacmi (TRV) tahmini	Dron (DJI SPARK)	RGB	3B Modelleme, TRV	Hacim korelasyonu (Manuel vs İHA): $r=0.831$	–	✗
[12]	Verim tahmini ve taç analizi	İHA (DJI Matrice 100)	RGB + Multispektral	OBIA, NDVI, Multiresolution, Segmentasyon	Otomatik Tespit (Delineasyon): %97.6	–	✗
[13]	Erken verim tahmini	Drone (DJI SPARK)	RGB	kNN Segmentasyon	kNN Piksel Sınıflandırma Doğruluğu: %71.3	–	✗
[14]	Taç geometrisi ile verim tahmini	İHA (DJI S800)	RGB	Eşikleme ve Kenar Algılama	Verim Tahmini Korelasyonu: $r=0.62-0.89$	–	✗
[15]	Hastalık tespiti	İHA (Italdron 4HSE EVO)	Multispektral + Termal + RGB	Segmentasyon ve LDA	Sağlık Durumu Kesinliği: %100, Duyarlılık: %98	–	✗
[16]	Yangın hasarı tespiti ve sınıflandırma	Dron + İHA (Phantom-4 ve MATRICE 300 RTK)	RGB + Lidar	Derin Öğrenme (SSD), ResNet50	Sınıflandırma F1: > 0.94, Tespit AP: %69 – %74	–	✗
<b>Önerilen Yöntem</b>	Otomatik tespit, kimliklendirme ve akıllı takip	Dron (DJI Mavic 3 Pro)	RGB + Termal + Mobil GPS	YOLOv8 + Geometrik Konum Hesaplama	Kesinlik: %83 Duyarlılık: %77 mAP@50: %86	$\pm 4$ m hata payı	✓

in *International Geography Symposium on the 30th Anniversary of TUCAUM*, 2018, pp. 1468–1477.

- [4] R. Valentini, L. Belelli Marchesini, D. Gianelle, G. Sala, A. Yaroslavtsev, V. Vasenev, and S. Castaldi, “New tree monitoring systems: from industry 4.0 to nature 4.0,” *Annals of Silvicultural Research*, vol. 43, no. 2, pp. 84–88, 2019.
- [5] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, “IV. Tarım Orman Şurası Sonuç Bildirgesi açıklandı,” <https://www.tarimorman.gov.tr/Sayfalar/Detay.aspx?TermStoreId=368e785b-af33-487d-a98d-c11d5495130b&TermSetId=2d27772a-6e08-4899-8453-5694a9eb6e6e&TermId=fb841593-eb13-4a7b-90e6-762d1dc46795&UrlSuffix=6601/Iv-Tarim-Orman-S%C3%BArasi-Sonuc-Bildirgesi-Aciklandi>, 2025, erişim tarihi: 18 Eylül 2025.

- [6] M. Brandt, J. Chave, S. Li, R. Fensholt, P. Ciais, J.-P. Wigneron, F. Gieseke, S. Saatchi, C. Tucker, and C. Igel, “High-resolution sensors and deep learning models for tree resource monitoring,” *Nature Reviews Electrical Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 13–26, 2025.

- [7] E. C. Rodríguez-Garlito and A. Paz-Gallardo, "Efficiently mapping large areas of olive trees using drones in extremadura, Spain," *IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 148–156, 2021.
- [8] J. M. Jurado, L. Ortega, J. J. Cubillas, and F. R. Feito, "Multispectral mapping on 3D models and multi-temporal monitoring for individual characterization of olive trees," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 7, p. 1106, 2020.
- [9] M. I. Ramos, J. J. Cubillas, R. M. Córdoba, and L. M. Ortega, "Improving early prediction of crop yield in Spanish olive groves using satellite imagery and machine learning," *PLoS One*, vol. 20, no. 1, p. e0311530, 2025.
- [10] O. Nevalainen, E. Honkavaara, S. Tuominen, N. Viljanen, T. Hakala, X. Yu, J. Hyypä, H. Saari, I. Pölonen, N. N. Imai, and A. M. G. Tommaselli, "Individual tree detection and classification with uav-based photogrammetric point clouds and hyperspectral imaging," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 3, 2017.
- [11] A. S. Anifantis, S. Camposeo, G. A. Vivaldi, F. Santoro, and S. Pascuzzi, "Comparison of UAV photogrammetry and 3D modeling techniques with other currently used methods for estimation of the tree row volume of a super-high-density olive orchard," *Agriculture*, vol. 9, no. 11, p. 233, 2019.
- [12] D. Stateras and D. Kalivas, "Assessment of olive tree canopy characteristics and yield forecast model using high resolution UAV imagery," *Agriculture*, vol. 10, no. 9, p. 385, 2020.
- [13] L. Ortenzi, S. Violino, F. Pallottino, S. Figorilli, S. Vasta, F. Tocci, F. Antonucci, G. Imperi, and C. Costa, "Early estimation of olive production from light drone orthophoto, through canopy radius," *Drones*, vol. 5, no. 4, p. 118, 2021.
- [14] R. R. Sola-Guirado, F. J. Castillo-Ruiz, F. Jiménez-Jiménez, G. L. Blanco-Roldan, S. Castro-Garcia, and J. A. Gil-Ribes, "Olive actual "on year" yield forecast tool based on the tree canopy geometry using UAS imagery," *Sensors*, vol. 17, no. 8, p. 1743, 2017.
- [15] A. Di Nisio, F. Adamo, G. Acciani, and F. Attivissimo, "Fast detection of olive trees affected by xylella fastidiosa from UAVs using multispectral imaging," *Sensors*, vol. 20, no. 17, p. 4915, 2020.
- [16] C. Vasilakos and V. S. Verykios, "Burned olive trees identification with a deep learning approach in unmanned aerial vehicle images," *Remote Sensing*, vol. 16, no. 23, p. 4531, 2024.
- [17] Google LLC, "Google earth pro," <https://www.google.com/earth/versions/>, 2026, erişim tarihi: 20 Şubat 2026.
- [18] A. Moran, "Students tackle environmental issues in Colombia and Türkiye," *IEEE Spectrum*, Nov. 2024.
- [19] Roboflow, <https://roboflow.com/>, Accessed: 16-Dec-2024.
- [20] AirData, "Airdata UAV - flight data analysis, mapping, and logging," <https://airdata.com/>, Accessed: 25-Jan-2025.
- [21] Esri, "ArcGIS," <https://www.arcgis.com/>, erişim tarihi: 20 Şubat 2026.
- [22] Earth Maps, <https://foxpoi.com/#earth>, Accessed: 23-Oct-2025.
- [23] L. Shen, B. Lang, and Z. Song, "DS-YOLOv8-Based object detection method for remote sensing images," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 125 122–125 137, 2023.
- [24] U. Demirci, M. Girgin, and T. Akgül, "Determining tree locations via satellite and drone data," in *2025 33rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2025, pp. 1–4.
- [25] X. Wan, Y. Shao, S. Zhang, and S. Li, "Terrain aided planetary uav localization based on geo-referencing," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, pp. 1–18, 2022.
- [26] X. Zhao, F. Pu, Z. Wang, H. Chen, and Z. Xu, "Detection, tracking, and geolocation of moving vehicle from UAV using monocular camera," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 101 160–101 170, 2019.
- [27] A. Graser, *Learning QGIS*. Packt Publishing Ltd, 2016.
- [28] S. Khan and K. Mohiuddin, "Evaluating the parameters of arcgis and QGIS for gis applications," *Int. J. Adv. Res. Sci. Eng.*, vol. 7, pp. 582–594, 2018.
- [29] Esri, "Import KML/KMZ (keyhole markup language)," ArcGIS CityEngine Documentation, çevrimiçi, <https://doc.arcgis.com/en/cityengine/latest/help/help-import-kmz-kml.htm>, erişim tarihi: 15 Ağustos 2025.
- [30] K. Şahin, T. Akgül, and M. Girgin, "Smart monitoring of olive fields," in *2025 33rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2025, pp. 1–4.
- [31] Y. Dong, Z. Fu, S. Stankovski, S. Wang, and X. Li, "Nutritional quality and safety traceability system for china's leafy vegetable supply chain based on fault tree analysis and QR code," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 161 261–161 275, 2020.

## Özgeçmişler



**Kübra Şahin**, lisans eğitimini 2019–2024 yılları arasında İstanbul Üniversitesi Matematik Bölümü’nde tamamlamıştır. Eğitim sürecinde yazılım geliştirme, veri tabanı teknolojileri, yapay zekâ entegrasyonu ve proje yönetimi alanlarında deneyim kazanmıştır. 2022 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde Work and Travel programına katılmıştır. 2022–2023 yılları arasında Neos Academy bünyesinde Full Stack Web Developer eğitimi almıştır; ekip çalışmasıyla proje geliştirme süreçlerinde yer almıştır. 2023–2025 yılları arasında İTÜ / Artge Teknoloji bünyesinde Yazılım Geliştirici ve Proje ekip üyesi olarak çalışmıştır. Bu süreçte IEEE EPICS tarafından kabul edilen tarım teknolojileri projesinin yönetimini üstlenmiş; web geliştirme, veri tabanı yönetimi, sistem yaygınlaştırma (deployment), yapay zekâ eğitimi ve ürün geliştirme süreçlerinden sorumlu olmuştur. Akademik olarak “Smart Monitoring of Olive Fields” başlıklı çalışması ile IEEE SIU 2025 kapsamında ilk makalesini yayınlamıştır. Eylül 2025 itibarıyla, Türkiye Kalkınma ve Yatırım Bankası’nın iştiraki olan Türkiye Kalkınma Fonu’nda Uzman Yardımcısı (analist) olarak çalışma hayatına devam etmektedir.



**Prof. Dr. Tayfun Akgül** lisans ve yüksek lisans derecelerini, sırasıyla 1985 ve 1988 yıllarında İTÜ Elektronik ve Haberleşme Bölümü’nde tamamladı. Doktorasını 1994 yılında Pittsburgh Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü’nde bitirdi. 1986 - 1988 arası TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Enstitüsü’nde, Eylül 1988’den itibaren Çukurova Üniversitesi’nde çalışmaya başladı. 1989-1994 arasında Pittsburgh Üniversitesi’nde doktora çalışması yaptı. 1996’da Çukurova Üniversitesi’nde Doçent oldu. 1997-1999 tarihleri arasında Drexel Üniversitesi’nde bulundu. 1999 - 2002 arasında TÜBİTAK-MAM’da Başuzman Araştırmacı unvanıyla çalıştı. Temmuz 2002’de İTÜ’ye Profesör unvanıyla atandı. Halen İTÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nde görev yapmaktadır. İTÜ ARIS Lab (Advanced Research on Images and Signals - İleri Sinyal ve Görüntü İşleme) adlı araştırma laboratuvarının yöneticisidir. Sinyal ve görüntü işleme alanında araştırma yapmakta ve “bilimsel” karikatürler çizmektedir.



**Melike Girgin** lisans derecesini 2019 yılında Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden almıştır. Telekomünikasyon Mühendisliği yüksek lisans derecesini 2024 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi’nde tamamlamış ve aynı bölümde doktora çalışmalarını sürdürmektedir. İTÜ bünyesinde faaliyet gösteren ARIS LAB (Advanced Research on Intelligent Systems - İleri Sinyal ve Görüntü İşleme) araştırma laboratuvarında doktora öğrencisi olarak görev almaktadır. Akustik, sismik ve sualtı sinyal işleme, görüntü işleme, dizin sinyal işleme ve gürültü analizi üzerine İTÜ ARIS LAB’da araştırmalar yapmakta ve akademik yayınlar üretmektedir.