

# Hava Aracının Kamera Özellikleri, Eğimi ve GPS Konumu ile Yerdeki Hedefin GPS Konumunun Bulunması

## Finding the GPS Location of a Ground Target using Aircraft's Camera Features, Attitude, and GPS Position

Mesut Tunçer<sup>1</sup>, Akif Durdu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bilgisayar Mühendisliği Bölümü  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya  
f201213034@ktun.edu.tr

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya  
adurdu@ktun.edu.tr

### Özetçe

Bu çalışmada, bir hava aracının GPS konumu ile üzerinde bulunan monoküler kameranın yatay görüş açısı (HFOV), dikey görüş açısı (VFOV), çözünürlüğü ve odak uzaklığı gibi özellikleri kullanılarak piksel başına düşen açı hesabı gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplama, hava aracının perspektifinden kamera görüş alanındaki herhangi bir pikselin gerçek dünyadaki karşılığının bulunmasına olanak tanımaktadır. Elde edilen piksel başına düşen açı değeri ile hedef ile hava aracı arasındaki irtifa hesaba katılarak kamera tarafından tespit edilen bir cismin hava aracına olan uzaklığı bulunur. Bu uzaklık hesaplaması, Haversine metodu modifiye edilerek oluşturulan bir yaklaşımla cismin gerçek dünyadaki koordinatlarına dönüştürülür. Önerilen yöntem ilgili simülasyon ortamları kullanılarak başarıyla test edilmiştir. Bu yöntem, hava aracının ve kameranın özelliklerini göz önünde bulundurarak gerçek dünyada nesnelere yerini tespit etmek için etkili bir yaklaşım sunmaktadır.

### Abstract

In this study, the calculation of angular separation per pixel was conducted by utilizing the GPS location of an aerial vehicle along with the characteristics of a monocular camera mounted on it, including the horizontal field of view (HFOV), vertical field of view (VFOV), resolution, and focal length. This calculation enables determining the real-world correspondence of any pixel in the camera's field of view from the perspective of the aerial vehicle. The obtained angular separation value per pixel, combined with the altitude between the target and the aerial vehicle, allows for calculating the distance from the camera-detected object to the aerial vehicle. This distance calculation is then transformed into real-world coordinates of the object using an approach based on a modified Haversine method. The proposed method has been successfully tested using relevant simulation environments. Considering the characteristics of both the aerial vehicle and the camera, this approach provides an effective means of locating objects in the real world.

### 1. Giriş

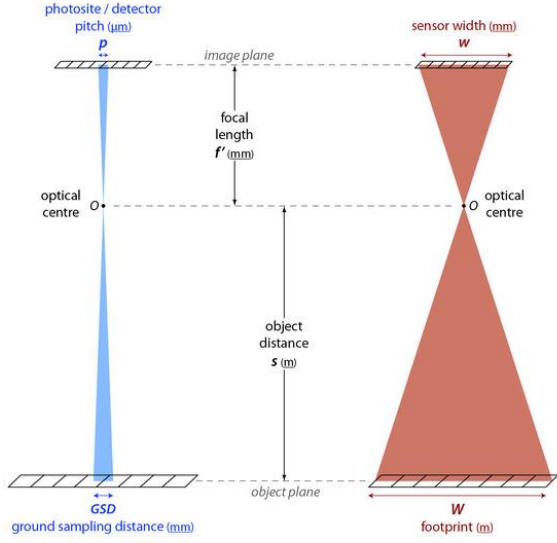
Günümüzde insansız hava araçları (İHA'lar), farklı alanlarda önemli uygulamalara olanak sağlayan, hızla gelişen ve çeşitlenen teknolojiler arasında yer almaktadır [1]. Bu teknolojiler, askeri operasyonlardan [2] tarım sektörüne [3], acil durum müdahalelerinden [4] haritalama çalışmalarına [5] kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. İHA'ların uçuş özelliklerinin ve görüntü alma kabiliyetlerinin geliştirilmesi, onları daha etkili ve çok yönlü hale getirmiştir [6].

Bu çalışmada, bir hava aracının GPS konumu, roll ve pitch eğim değerlerine bağlı olarak monoküler tipteki bir kameranın görüş açısı ve çözünürlüğü ile piksel başına düşen açının hesaba katılması yoluyla karadaki bir noktanın GPS konumunu bulma yöntemi incelenmiştir. Bu yöntem, hava aracının yükseklik ve eğim gibi değişkenlerine bağlı olarak, karadaki belirli bir hedefin tam olarak nerede bulunduğunu tespit etmeyi hedeflemektedir.

Çalışma, halihazırda literatürde bulunan Ground Sample Distance metoduna [7] benzemektedir. Ancak, GSD metodu çalışma prensibi gereği yalnızca yere dik bir perspektifte çalışabilmektedir. Bu durumda, kamera perspektifinin yere dik olarak bakması için GSD metoduna gimbal [8] benzeri modüller eklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ise hava aracının eğim değerleri hesaba katıldığından dolayı ekstra modüllere ihtiyaç duyulmamaktadır. Ground Sample Distance metodu Şekil 1 üzerinde görselleştirilmiştir.

Haversine yöntemi, bir küre üzerindeki iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi (yükseklik farkı olmadan) hesaplamak için kullanılan bir trigonometrik formüldür. Bu yöntem, genellikle Dünya üzerindeki iki koordinat noktasının (enlem ve boylam türünde) arasındaki mesafeyi hesaplamak için kullanılır [9]. Bu yöntem, Dünya yüzeyindeki iki nokta arası mesafenin Öklid türünden alınmasına nazaran daha karmaşık ancak daha doğrudur. Aynı zamanda, Dünya yüzeyindeki iki nokta arası mesafenin doğruluğunu Haversine metoduna göre daha isabetli bulan ancak Haversine metoduna göre daha karmaşık olan diğer metotlar da vardır. Bu metotlardan bazıları Lambert [10], Vincenty [11] ve Karney [12] yöntemleridir. Bu çalışmada

entegrasyonunun kolay ve performansının yeterli olduğu kanısından dolayı Haversine metodu tercih edildi.



Şekil 1: Ground Sample Distance [13].

Metot bölümünde açıklanan hesaplamalar ve Haversine metodu kullanılarak, kamera üzerindeki piksel noktalarının araca olan uzaklığı, ardından aracın GPS konumu ve bu uzaklık değerleri kullanılarak hedef noktanın GPS koordinatları başarıyla tespit edilmiştir. Bu sayede, İHA'nın hava-kara muharebe görevi sırasında, havadan hedef noktanın tam konumunun belirlenmesi ve operatöre gerçek zamanlı olarak aktarılması sağlanmıştır.

Çalışmanın odak noktası olan bu yöntem, farklı sektörlerdeki İHA uygulamalarının daha etkili ve hassas bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır. Tarım alanında bitki sağlığının izlenmesi, yangın gibi acil durum müdahalelerinde yerin doğru şekilde tespiti, haritalama ve keşif çalışmalarında hassas konum belirleme gibi birçok alanda bu tür teknolojilerin önemi artmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, İHA teknolojisinin ve navigasyon kabiliyetlerinin daha da ilerletilmesine yönelik araştırmalara ve uygulamalara ilham vermesi beklenmektedir.

Sonraki bölümlerde, metot ve sonuçlar daha detaylı bir şekilde sunulacak ve elde edilen sonuçların performansı ve etkinliği değerlendirilecektir. Ayrıca, farklı senaryolarda ve uygulamalarda bu yöntemin performansının test edilmesi ve geliştirilmesi için yapılacak çalışmalara da değinilecektir.

İlerleyen zamanlarda, İHA teknolojilerinin hızla ilerlemesiyle birlikte, havadan karadaki hedeflerin daha doğru ve güvenilir bir şekilde tespiti için benzeri gelişmiş navigasyon yöntemlerine olan ihtiyacın artması beklenmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın, gelecekteki İHA projeleri ve hava-kara muharebe görevleri için önemli bir referans oluşturması amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Kamera üzerinde "Piksel Başına Düşen Görüş Açısı" hesabı yapabilmek için kameranın Yatay Çözünürlüğü, Dikey Çözünürlüğü, Yatay Görüş Açısı ve Dikey Görüş Açısı

bilgilerinin bilinmesi gerekmektedir. Birçok kamera satışı sırasında yatay ve dikey çözünürlüğü bilgi olarak kullanıcıya vermektedir. Ancak, kameraların satışı sırasında yatay ya da dikey Görüş Açısı (FOV) bilgisi spesifik olarak verilmemektedir. Bu durumda, kameranın yatay ve dikey ekseninde oluşan görüş açılarının ayrı olarak hesaplanması gerekmektedir. Kameranın görüş açılarının hesabı için "Odak Uzaklığının" bilinmesi gerekmektedir. Bu özellik kamera şirketi tarafından satış sırasında kullanıcıya verilmektedir.

Dikey görüş açısı (VFOV) hesaplamasında kullanılan formül (1) olarak verilmiştir. Verilen formülde  $H$ , kameranın piksel cinsinden dikey piksel sayısını;  $f$ ,  $mm$  cinsinden kameranın odak uzaklığını ifade etmektedir.

$$VFOV = 2 * \arctan\left(\frac{H}{2} * f\right) \quad (1)$$

Yatay görüş açısı (HFOV) hesaplamasında kullanılan formül (2) olarak verilmiştir. Verilen formülde  $W$ , kameranın piksel cinsinden yatay piksel sayısını;  $f$ ,  $mm$  cinsinden kameranın odak uzaklığını ifade etmektedir.

$$HFOV = 2 * \arctan\left(\frac{W}{2} * f\right) \quad (2)$$

Yatay ve dikey görüş açıları hesaplandığı zaman (3) ve (4) ile verilen işlemler gerçekleştirilerek piksel başına düşen açı miktarı yatay ve dikey ekseninde bulunur.

Dikey ekseninde piksel başına düşen açı (3) içerisinde  $pba_v$  (Piksel Başına Açı) olarak verilmiştir.

$$pba_v = \frac{VFOV}{H} \quad (3)$$

Yatay ekseninde piksel başına düşen açı (4) içerisinde  $pba_h$  olarak verilmiştir.

$$pba_h = \frac{HFOV}{W} \quad (4)$$

(1) ve (2) olarak verilen denklemler (3) ve (4) üzerindeki yerine yerleştirildiğinde (5) ve (6) ile verilen formüller oluşturulur.

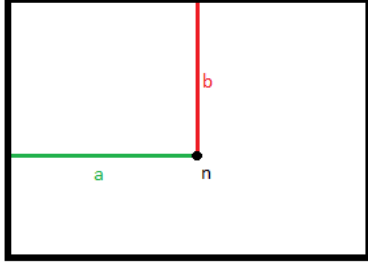
$$pba_v = \frac{2 * \arctan\left(\frac{H}{2} * f\right)}{H} \quad (5)$$

$$pba_h = \frac{2 * \arctan\left(\frac{W}{2} * f\right)}{W} \quad (6)$$

Kamera üzerindeki herhangi bir pikselin yatay ve dikey eksenlerdeki uzaklığının derece cinsinden orta noktaya göre bulunması optimum yaklaşım olacaktır. Kamera üzerindeki herhangi bir piksel noktası  $n$  ile ifade edilmektedir.  $n$  noktası (7) üzerinde verildiği üzere sırasıyla yatay ve dikey değerleri temsil eden  $a$  ve  $b$  değerleri olan bir matristir.

$$n = [a \quad b] \quad (7)$$

(7) üzerinde verilen  $n$  piksel noktasının ekran üzerindeki yatay ve dikey değerleri Şekil 2 üzerinde görselleştirilmiştir.



Şekil 2: n piksel noktasının değerleri.

Kamera üzerindeki herhangi bir pikselin yatay ve dikey eksenlerdeki uzaklığının kameranın orta noktasına göre piksel cinsinden bulunması için kameradan alınan görüntünün yatay piksel sayısının yarısı  $n_a$ 'dan çıkarılır. Dikey ekseninde ise dikey eksenindeki piksel sayısının yarısından  $n_b$  değeri çıkarılır. Yapılan hesaplamalar (8) üzerinde verilmiştir.

$$O = \begin{cases} x = n_a - \frac{w}{2} \\ y = \frac{h}{2} - n_b \end{cases} \quad (8)$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda alınan veriler ile  $\tan$  kullanılarak derece cinsinden araçtan uzaklığı bulunan piksel noktasının metre cinsine dönüştürülmesi istenmektedir. Böylelikle, Haversine metoduna entegre edilebilecek, aracın GPS noktasından metrik hesaplama yapılarak başka bir GPS noktası bulunabilecektir.  $\tan$  ile uzaklık hesabının yapılabilmesi için genel denkleme metre cinsinden bir değişkenin eklenmesi gerekmektedir. Önerilen metotta bu değişken, yükseklik ( $h$ ) olarak verilmiştir. Bu yükseklik, aracın yer ile arasındaki değil yerde bulunan hedef ile arasındaki yüksekliktir.

Aracın kamerasının yer ile dik bir açı oluşturması gerekmektedir. Ancak, aracın eğimi değişkendir. Bu nedenle denkleme araca ait olan roll (yuvarlanma) ve pitch (diklenme) değerlerinin de dahil edilmesi gerekir. Bu değerler denkleme dahil edilerek kameranın yer ile dik bir açı oluşturması sağlanacaktır. Araca ait roll ve pitch değerleri (9) üzerinde  $\eta$  matrisi içerisinde sırasıyla  $\varphi$  ve  $\theta$  olarak verilmiştir.

$$\eta = [\varphi \ \theta] \quad (9)$$

Kamerada bulunan  $O$  piksel noktasının araçtan aracın kendi yatay ve dikey eksenlerindeki uzaklığı metre cinsinden sırasıyla (10) ve (11) olarak verilmiştir.

$$d_x = h * \tan(O_x * pba_n + \eta_\varphi) \quad (10)$$

$$d_y = h * \tan(O_y * pba_v - \eta_\theta) \quad (11)$$

Yapılan bu hesaplamalar sonucunda geriye yalnızca Haversine metodunun isteğimize uygun modifiye edilip diğer GPS noktasının bulunması kalmıştır.

Araca ait GPS noktası matrisi  $\varepsilon$  olarak (12) üzerinde verilmiştir. Bu matriste araca ait enlem bilgisi  $lat$  ve boylam bilgisi  $lon$  ile temsil edilmektedir.

$$\varepsilon = [lat \ lon] \quad (12)$$

Araçtan hedef noktaya metre cinsinden Öklid uzaklığı (13) üzerinde  $d$  olarak tanımlanmıştır.

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} \quad (13)$$

Haversine metodunu modifiye ettiğimizde ortaya çıkan hedef GPS konumu (14) üzerinde  $Target$  ile temsil edilmiştir.

$$Target = [lat \ lon] \quad (14)$$

Haversine metoduna ait enlem formülünü modifiye ettiğimizde (15) üzerinde verilen formül ortaya çıkmaktadır. Bu formül içerisindeki  $\frac{d_x}{d}$  kısmı kosinüs hesabına eşittir.  $R$ , Dünyanın yarıçapını (6371000m) ifade etmektedir.

$$Target_{lat} = \arcsin\left(\sin(\varepsilon_{lat}) * \cos\left(\frac{d}{R}\right) + \cos(\varepsilon_{lat}) * \sin\left(\frac{d}{R}\right) * \left(\frac{d_x}{d}\right)\right) \quad (15)$$

Haversine metoduna ait boylam formülünü modifiye ettiğimizde (16) üzerinde verilen formül ortaya çıkmaktadır. Bu formül içerisindeki  $\frac{d_y}{d}$  kısmı sinüs hesabına eşittir.

$$Target_{lon} = \varepsilon_{lon} + \arctan\left(\frac{\left(\frac{d_y}{d}\right) * \sin\left(\frac{d}{R}\right) * \cos(\varepsilon_{lat})}{\cos\left(\frac{d}{R}\right) - \sin(\varepsilon_{lon}) * \sin(Target_{lat})}\right) \quad (16)$$

### 3. Tartışma

Bu çalışmada, hava aracının GPS konumu, roll ve pitch eğim değerlerine bağlı olarak kameranın özellikleri ile piksel başına düşen açılardan hesaplanması yöntemi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, havadan karadaki bir noktanın GPS konumunun başarıyla tespit edilebildiğini göstermektedir. Tartışma bölümünde, yöntemin avantajları, sınırlamaları ve potansiyel geliştirme alanları üzerinde durulacaktır.

Yöntem, kameranın görüş açısı ve çözünürlüğü ile piksel başına düşen açılardan hesaplanması sayesinde havadan karadaki bir noktanın GPS konumunu hassas bir şekilde tespit edilebilirliğine sahiptir. Operatöre gerçek zamanlı olarak hedef noktanın GPS koordinatlarını aktarabilme yeteneğine sahiptir. Bu özellik, acil durum müdahaleleri ve güvenlik operasyonları gibi uygulamalarda büyük avantaj sağlar. Tarım, haritalama, keşif ve güvenlik gibi farklı sektörlerde çeşitli uygulamalara olanak tanır. Bu, İHA teknolojisinin daha çok alanda kullanılabilirliğini artırır.

Yöntemin doğruluğu, kameranın özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Kamera özelliklerinin yanlış belirlenmesi, tespit edilen GPS konumunun doğruluğunu etkileyebilir. Hava aracının eğim ve yükseklik değerleri değişken olduğunda, hesaplamalarda hatalar meydana gelebilir. Bu durum, yöntemin uygulama alanlarını sınırlayabilir.

Farklı sensörlerin (örneğin, lidar veya radar) kullanılması ve bu sensör verilerinin kameranın özellikleriyle entegre edilmesi, yöntemin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırabilir. Kameranın otomatik olarak odaklanması ve odak ayarının yapılması, görüntü kalitesini artırabilir ve hedef noktanın tespitini kolaylaştırabilir. AR teknolojisinin kullanılması, operatörün daha net bir şekilde hedef noktayı görmesine yardımcı olabilir ve navigasyon sürecini daha interaktif hale getirebilir. Farklı hava koşullarında, farklı hedef türleri ve

zemin tipleri üzerinde test edilmesi, gerçek dünya uygulamaları için daha iyi bir değerlendirme sağlayabilir.

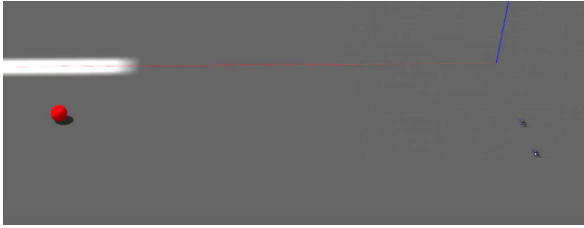
Sonuç olarak, bu çalışma, hava aracının navigasyon kabiliyetini artırmak ve havadan karadaki hedefleri doğru bir şekilde tespit etmek için yenilikçi bir yöntem sunmaktadır. Ancak, yöntemin gerçek dünya uygulamalarında kullanılabilirliğini değerlendirmek için daha fazla test ve geliştirme yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın, İHA teknolojisinin gelecekteki gelişimi ve farklı sektörlerdeki uygulamaları için önemli bir temel oluşturması beklenmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Önerilen yöntem, Gazebo [14] simülasyon ortamında ROS [15] tabanlı olarak ArduPilot SITL [16] yazılımı yardımıyla simüle edilmiştir. Simülasyon sırasında senaryo tabanlı bir yaklaşım izlenmiştir. Bu sayede, önerilen yöntemin simülasyon sırasında gerçek hayata yakın bir şekilde tepki vermesi istenmiştir.

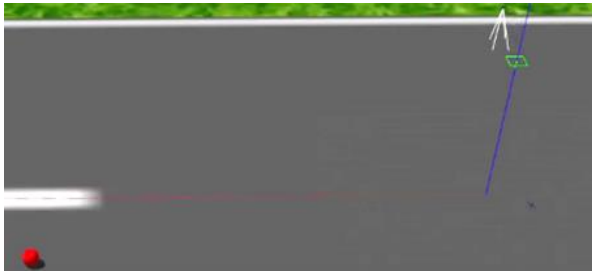
Senaryo, iki adet Quad-Rotor tipindeki drondan oluşmaktadır. Bu iki drondan birisi gözcü diğeri ise yüklü drondur. Gözcü dron önce kalkarak hedef üzerinde seyrederek ve hedefin tam olarak üstünden geçmesine gerek kalmadan yalnızca kamera perspektifinden hedefi saptayacak ve sonrasında yüklü dron önerilen metot yardımıyla hesaplanan GPS noktasına yakın irtifa kuracak şekilde gidecektir. Böylelikle, yüklü dron hedefin üstünde yakın irtifada konumlanacaktır.

Kalkış öncesi dronların ve hedefin konumlarını içeren görsel Şekil 3 olarak verilmiştir.



Şekil 3: Dronların ve hedefin gerçekleştirme öncesi konumları.

Gözcü dronun kalkışı ve hedefin üstüne doğru ilerlemesi Şekil 4 ile verilmiştir. Bu sırada, yüklü dron beklemede kalmaktadır.



Şekil 4: Gözcü dronun kalkışı ve hedefe yönelmesi.

Gözcü dronun hedef üstünden geçmesi Şekil 5 ile verilmiştir. Bu durumda asıl önemli olan nokta gözcü dronun hareket ederken ön tarafa belirli bir açı ile yatmasıdır. Ancak,

yapılan eğim hesaplamalarıyla bu açıdan kaynaklanan sapma ortadan kaldırılmıştır.



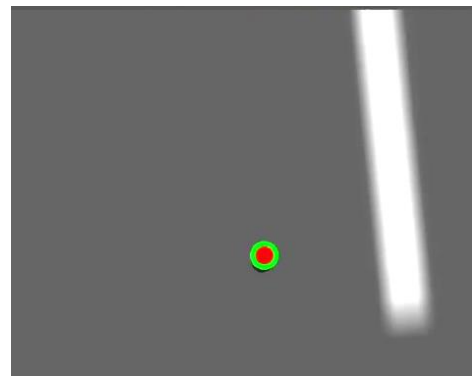
Şekil 5: Gözcü dronun hedef üstünden geçiş anı.

Gözcü dronun hedefi algıladığı sırada operatöre döndürdüğü metre cinsinden gözcüye olan uzaklık (x ve y olarak verilmiştir) ve hedefin GPS konumu Şekil 6 ile verilmiştir. Şekilde aynı zamanda hava aracına ait GPS konumuna da yer verilmiştir. Hava aracına ait GPS konumunun irtifası 623m civarlarındadır.

```
x: 1.047285 y: -2.241497
lat: -35.362987 lon: 149.165162 alt: 19.983000
lat: -35.363007 lon: 149.165173 alt: 623.318873
x: 1.047285 y: -2.382876
lat: -35.362987 lon: 149.165162 alt: 19.983000
lat: -35.363009 lon: 149.165173 alt: 623.318873
x: 1.047285 y: -2.559932
lat: -35.362987 lon: 149.165162 alt: 19.983000
lat: -35.363010 lon: 149.165173 alt: 623.318873
```

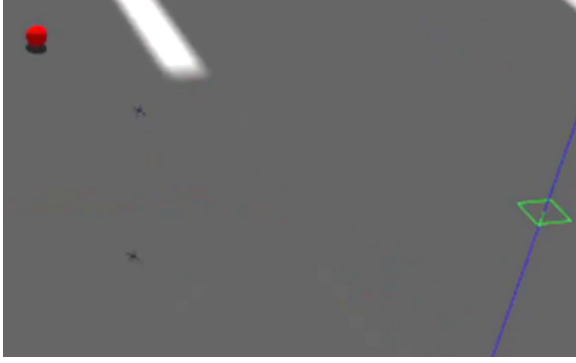
Şekil 6: Hedefe ait konum ve uzaklık verileri.

Gözcünün hedefi algıladığı anlardan birisine ait kamera görüntüsü Şekil 7 olarak verilmiştir. Şekil 7 üzerinde verilen nesnenin algılanması için OpenCV [17] bilgisayarlı görü kütüphanesi yardımıyla kamera tarafından alınan görüntü verisindeki kırmızı daireler tespit edilmiştir. Belirtmek gerekir ki, görüntü işleme yönteminin önerilen metot üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.



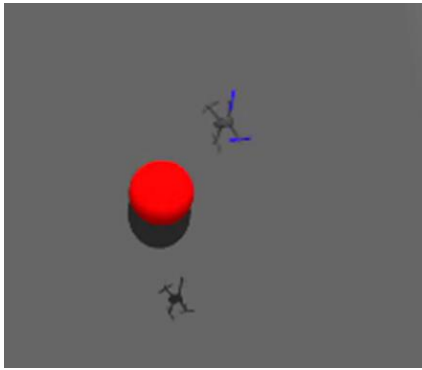
Şekil 7: Tespit anında gözcünün kamerasındaki görüntü.

Yüklü dronun hedef üzerine doğru harekete geçmesi Şekil 8 olarak verilmiştir.



Şekil 8: Yüklü dron hedefe yöneliyor.

Yüklü dronun hedef üstünde yakın irtifada konumlanması Şekil 9 ile verilmiştir.



Şekil 9: Yüklü dron hedefin üstünde.

Yüklü dronun gözcü dron tarafından tespit edilen hedef üzerinde yakın irtifada konumlanması ile simülasyon testi başarıyla tamamlanmıştır.

### Teşekkür

Yazarlar ayrıca Konya Teknik Üniversitesi RAC-LAB Araştırma Laboratuvarına (www.rac-lab.com) teşekkür eder.

### Kaynakça

- [1] Hai Chen, Xin-min Wang, and Yan Li, "A survey of autonomous control for uav," in 2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, 2009, vol. 2, pp. 267–271.
- [2] Huifang Wang, Hongjun Cheng, and Heyuan Hao, "The use of unmanned aerial vehicle in military operations," in Man-Machine-Environment System Engineering, Shengzhao Long and Balbir S. Dhillon, Eds., Singapore, 2020, pp. 939–945, Springer Singapore.
- [3] H. S. Abdullahi, F. Mahieddine, and R. E. Sheriff, "Technology impact on agricultural productivity: A review of precision agriculture using unmanned aerial vehicles," in Wireless and Satellite Systems, Prashant Pillai, Yim Fun Hu, Ifiok Otung, and Giovanni Giambene, Eds., Cham, 2015, pp. 388–400, Springer International Publishing.
- [4] Wenbo Jin, Jixing Yang, Yudong Fang, and Wenchuan Feng, "Research on application and deployment of uav in emergency response," in 2020 IEEE 10th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), 2020, pp. 277–280.
- [5] LIN Zongjian, "Uav for mapping—low altitude photogrammetric survey," International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Beijing, China, vol. 37, pp. 1183–1186, 2008.
- [6] Panagiotis Aposporis, "Object detection methods for improving uav autonomy and remote sensing applications," in 2020 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2020, pp. 845–853.
- [7] Draeyer, B., & Strecha, C. (2014). White paper: How accurate are UAV surveying methods. Pix4D White Paper, 4.
- [8] C. E. Lin and S. -K. Yang, "Camera gimbal tracking from UAV flight control," 2014 CACS International Automatic Control Conference (CACS 2014), Kaohsiung, Taiwan, 2014, pp. 319-322, doi: 10.1109/CACS.2014.7097209.
- [9] Azdy, Rezanía & Darnis, Febriyanti. (2020). Use of Haversine Formula in Finding Distance Between Temporary Shelter and Waste End Processing Sites. Journal of Physics: Conference Series. 1500. 012104. 10.1088/1742-6596/1500/1/012104.
- [10] Lambert, W. D (1942). "The distance between two widely separated points on the surface of the earth". J. Washington Academy of Sciences. 32 (5): 125–130.
- [11] Vincenty, Thaddeus. "Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations." Survey review 23.176 (1975): 88-93.
- [12] Karney, Charles FF. "Algorithms for geodesics." Journal of Geodesy 87 (2013): 43-55.
- [13] Verhoeven, Geert. (2018). Resolving some spatial resolution issues – Part 1: Between line pairs and sampling distance. 57. 25-34. 10.5281/zenodo.1465017.
- [14] Koenig, N., & Howard, A. (2004, September). Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. In 2004 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS)(IEEE Cat. No. 04CH37566) (Vol. 3, pp. 2149-2154). IEEE.
- [15] Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., ... & Ng, A. Y. (2009, May). ROS: an open-source Robot Operating System. In ICRA workshop on open source software (Vol. 3, No. 3.2, p. 5).
- [16] Qays, H. M., Jumaa, B. A., & Salman, A. D. (2020). Design and implementation of autonomous quadcopter using SITL simulator. IRAQI JOURNAL OF COMPUTERS, COMMUNICATIONS, CONTROL AND SYSTEMS ENGINEERING, 20(1), 1-15.
- [17] Bradski, Gary. "The openCV library." Dr. Dobb's Journal: Software Tools for the Professional Programmer 25.11 (2000): 120-123.