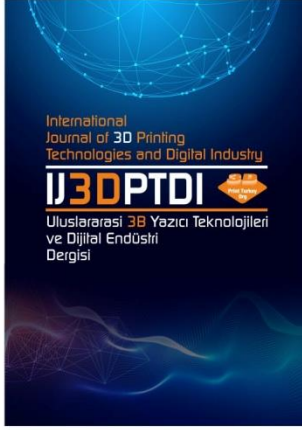




ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 [Online]

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE İKİ EKSENLİ OTONOM SİLAH MEKANİZMASININ KONTROLÜ VE PERFORMANS

CONTROL AND PERFORMANCE EVALUATION OF
TWO-AXIS AUTONOMOUS WEAPON MECHANISM
USING IMAGE PROCESSING

Yazarlar (Authors): Mehmet Akif Arvas^{ID*}, Mustafa Ayyildiz^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Arvas M. A., Ayyildiz M., “Görüntü İşleme ile İki Eksenli Otonom Silah Mekanizmasının Kontrolü ve Performans Değerlendirmesi” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 9(3): 536-545, (2025).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1679106

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE İKİ EKSENLİ OTONOM SİLAH MEKANİZMASININ KONTROLÜ VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Mehmet Akif Arvas^a , Mustafa Ayyıldız^b 

^a Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, TÜRKİYE
^b Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: arvasmakif@gmail.com

(Geliş/Received: 18.04.25; Düzeltme/Revised: 18.10.25; Kabul/Accepted: 18.11.25)

ÖZ

Teknolojinin hızlı gelişimiyle birlikte, akıllı ve otonom sistemler savunma sanayinde stratejik bir öneme sahip hâle gelmiştir. Bu çalışmada, geliştirilen görüntü işleme ve hareket algoritması, iki eksenli hazır bir silah sistemine entegre edilerek, laboratuvar ortamında yerleştirilen sabit balonlar arasında kırmızı balonlar otomatik olarak tespit edilip imha edilmesi sağlanmıştır. Renk, doygunluk ve parlaklık (HSV) renk uzayı, kenar belirleme ve ağırlık merkezi hesaplama yöntemleriyle hedef tespiti gerçekleştirilmiştir. Sistem Jetson Nano mikroişlemci platformu, Python programlama dili ve OpenCV kütüphanesi ile yapılandırılmıştır. Deneyler, herhangi bir canlıya zarar verilmeden, laboratuvar ortamında güvenli ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Toplamda dört hedefe beş atış yapılmış; ilk atışta başarı oranı %75, genel başarı oranı ise %80 olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, sistemin sabit hedefler üzerinde kayda değer bir doğruluk sunduğunu ve görüntü işleme destekli yapısıyla literatüre katkı sağlama potansiyeli taşıdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Otonom Silah Sistemi, OpenCV, Jetson Nano, Görüntü İşleme, Hedef Tespiti.

CONTROL AND PERFORMANCE EVALUATION OF TWO-AXIS AUTONOMOUS WEAPON MECHANISM USING IMAGE PROCESSING

ABSTRACT

With the rapid advancement of technology, smart and autonomous systems have gained strategic importance in the defense industry. In this study, the developed image processing and motion algorithm was integrated into a pre-assembled two-axis weapon system, enabling the automatic detection and neutralization of red balloons among stationary balloons placed in a laboratory environment. Target detection was achieved using hue, saturation, and brightness (HSV) color space, edge detection, and center of gravity calculation methods. The system was configured with the Jetson Nano microprocessor platform, the Python programming language, and the OpenCV library. The experiments were conducted in a safe and controlled laboratory environment without causing harm to any living being. A total of five shots were fired at four targets; the success rate for the first shot was measured as 75%, and the overall success rate was 80%. The results obtained show that the system offers remarkable accuracy on fixed targets and has the potential to contribute to the literature with its image processing-supported structure.

Keywords: Autonomous Weapon System, OpenCV, Jetson Nano, Image Processing, Target Detection.

1. GİRİŞ

Dünya tarihi boyunca insanlar arasında savaşlar gerçekleşmiştir. Savaşlar da üstünlüğü ele alma

arzusu, insanları devamlı olarak geliştirmeye ve yeni çözümler bulmaya yönlendirmiştir. İlk dönemlerde insanoğlu taş ve sopayı silah olarak

kullanırken, zamanla ok ve yay gibi ilkel silahlar yaparak çatışmalarda avantaj sağlamaya çalışılmıştır. Teknolojik ilerlemelerle birlikte bunların yerini, daha güçlü ve etkili silahlar olan tabanca, tüfek, top ve tank gibi araçlar almıştır. Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi, savunma sektöründe de büyük değişimlere sebep olmuştur. Bu değişimlerin başında otonom sistemler yer almaktadır. Otonom sistemlerin sağlık, sanayi, iletişim ve savunma sanayi gibi birçok alanda geniş bir kullanımı, robot teknolojilerinin gelişmesinde önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Otonom sistemlerin; yüksek hassasiyet, hız ve güç gerektiren görevleri zamandan tasarruf sağlayacak şekilde gerçekleştirmesi, bu teknolojilerin hayatın her bölümüne hızla girmesini sağlamaktadır [1-3].

Hükümetler, özgün, yerli ve millî tasarımlar geliştirerek düşük maliyetle savunma sanayisi alanındaki ihtiyaçlarını karşılamak hedefi doğrultusunda, bağımsız savunma politikalarını hayata geçirmeyi hedeflemektedir. Tarih boyunca ve günümüzde, savunma endüstrisinin ulusal güvenlik ve uluslararası ilişkiler açısından taşıdığı stratejik önem, ülkeleri savunma teknolojilerinde yenilikçi ürünler geliştirmeye, teknoloji transferleri yapmaya ve sektörde lider konuma gelmeye teşvik etmiştir. Günümüzde hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler, savunma sanayisinde aktif rol almakta; bu alanın ilerlemesiyle birlikte dışa bağımlılıklarını azaltarak askerî güçlerini artırmayı amaçlamaktadır [4-5].

Otonom silah sistemleri, savunma sanayisi alanında yeni bir devrim başlatmaktadır. Bu sistemlerin geliştirilerek orduya kazandırılması, hükümetlere diğer devletlere kıyasla savaş alanında önemli bir rekabet üstünlüğü elde etme imkânı sunmaktadır [6]. Otonom silah sistemlerinin stratejik avantajlarından biri, yalnızca üstünlük sağlaması değil; aynı zamanda askerî personel ihtiyacını azaltarak operasyonel verimliliği artırmasıdır [7]. İnsan faktörüne olan bağımlılığı minimize eden bu sistemler hem güvenliği artırmakta hem de askerî operasyonların daha hızlı ve etkin şekilde yürütülmesine olanak tanımaktadır.

Ziylan A. [8], yerli ve millî üretimin savunma sanayisinde büyük bir öneme sahip olduğunu vurgulayarak, Türkiye'nin de bu alanda bağımsızlığını güçlendirmek için yerli yazılım

ve üretime yönelmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu doğrultuda, Türkiye'nin son yıllarda otonom silah sistemleri üzerindeki çalışmalarını hızlandırdığı görülmektedir. Bu çalışmaların somut bir örneği, uzaktan kontrol edilebilen ve görüntü aktarımı sağlayan Koralp silah kulesidir. Koralp, tehdit unsurlarını yüksek doğrulukla tespit edip, operatör tarafından onaylanan hedefleri yarı otonom bir sistemle imha edebilmektedir [9].

Usta ve ekibinin [10], çalışmasında, bilgisayar destekli bir silah konum kontrol sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin başarılı bir şekilde çalışabilmesi için doğru tahrik gücüne sahip motor seçiminin kritik bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sırasında, yetersiz güçte bir motor kullanıldığında adım kayıpların meydana geldiği ve sistemin istenilen konuma ulaşamadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, servo motor kullanımının daha stabil ve hassas bir kontrol sağladığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, Goutam Das ve ekibi [11], tarafından yapılan çalışmada, tetik mekanizması servo motor aracılığıyla çalıştırılmıştır. Burada, tetik bir ip ile servo motor miline bağlanmış ve servo motor döndüğünde ip rotor üzerine sarılarak silah ateşlenmiştir. Ateşleme işlemi tamamlandıktan sonra, servo motor başlangıç konumuna dönerek tetik ipini serbest bırakmıştır. Yapılan başka bir çalışmada ise el fonksiyonlarının kontrolünü sağlamak amacıyla iki motor kullanılmış, robot el prototipindeki tutucu mekanizma esneklik sensörü ile yönetilmiştir [12].

Sistem, mikroişlemci kartıyla kontrol edilecektir. Günümüzde Raspberry Pi 4 ve Jetson Nano, görüntü işleme ve robotik uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen platformlardır. Nvidia tarafından geliştirilen Jetson Nano, özellikle robotik, derin öğrenme ve bilgisayarlı görü uygulamalarında yüksek performans sunan bir mikroişlemci kartıdır. 5–10 W arasında düşük güç tüketimi, kompakt tasarımı ve entegre GPU'su sayesinde nesne algılama ve gerçek zamanlı görüntü işleme süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Cihaz, quad-core ARM Cortex-A57 işlemcisi ve Maxwell mimarili 128 CUDA çekirdeğine sahip GPU'su ile OpenCV gibi kütüphaneleri destekleyerek yüksek hızda veri işleme yeteneğine sahiptir [13].

Görüntü işleme teknolojisi, otonom silah sistemlerinin yalnızca mekanik bir yapıdan ibaret olmadığını gösteren kritik bir bileşendir. Bilgisayar veya mikroişlemci yardımıyla kameradan alınan görüntünün analiz edilerek belirli hedeflerin tespit edilmesi ve işlenmesi sürecini kapsayan görüntü işleme, savunma sanayi başta olmak üzere tıp, video analitiği, robotik sistemler, güvenlik gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alan, gelişen teknoloji ile birlikte sürekli ilerlemekte ve daha etkili çözümler sunmaktadır [14]. Savunma ve güvenlik alanında, nesne algılama ve hedef takibi gibi süreçlerde kullanımı oldukça yaygındır.

Görüntü işleme süreçlerinde en çok kullanılan programlama dilleri arasında Java, C, C++ ve Python bulunmaktadır. Özellikle Python, açık kaynak yapısı, geniş kütüphane desteği (OpenCV, NumPy, TensorFlow) ve kolay uygulanabilirliği sayesinde en çok tercih edilen dillerden biridir [15]. Özellikle görüntü işleme algoritmalarında kullanılan en popüler kütüphanelerden biri OpenCV'dir. OpenCV, görüntü işleme, yüz tanıma, nesne algılama ve segmentasyon gibi birçok uygulamada yaygın şekilde tercih edilmektedir [16]. Çeşitli programlama dilleri ile uyumlu çalışabilmesi, onu en çok kullanılan görüntü işleme araçlarından biri hâline getirmiştir [17].

Turanlı ve ekibi [18], lazer güdümlü hedefleri takip edebilen robotik bir sistem tasarlamıştır. Bu sistem, OpenCV kütüphanesi ile hedefi tespit ederek, koordinatlarını seri haberleşme portu aracılığıyla mikroişlemciye iletme ve kameranın doğru yöne yönelmesini sağlamaktadır. Düzen E. [19], otonom yangın algılama ve söndürme sistemleri üzerine gerçekleştirdiği çalışmada, yangın tespiti için OpenCV kütüphanesinden faydalanmıştır. Remzi Ertut ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada, insansız hava araçları (İHA'lar) üzerine entegre edilen kamera sistemlerinden elde edilen görüntülerde, silahların otomatik tespiti amacıyla YOLOv5 (You Only Look Once) algoritması ve modern görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır [20].

Son yıllarda otonom sistemlerin yaygınlaşmasıyla birlikte, nesne algılama ve tespit süreçleri daha kritik hâle gelmiştir. Bingöl ve ekibi, nesne tanıma ve algılama süreçlerinin özellikle otonom sürüş sistemlerinde önemli bir

araştırma alanı olduğunu vurgulamışlardır. Algılama süreçlerinde, sistemin hareket başlamadan önce çevresindeki nesneleri tespit etmesi gerekmektedir. Engel tespiti, yaya algılama ve araç tanıma gibi süreçler, bu sistemlerin temel bileşenleri arasındadır [21]. Nesne algılamanın ardından, hedefin konumunu belirlemek ve hareket yönünü tahmin etmek için nesne takibi süreci gerçekleştirilir. Singh ve arkadaşları, savaş alanlarında düşman birliklerinin, askerî araçların ve stratejik hedeflerin gerçek zamanlı olarak takip edilmesinin büyük bir avantaj sağladığını ifade etmiştir. Hedefin anlık olarak izlenmesi, gerektiğinde müdahale edilmesini kolaylaştırmaktadır [22].

Nesne takibinin ardından uygulanan kenar algılama yöntemi, hedefin sınırlarını belirleyerek daha net analizler yapılmasına olanak tanır. Wren ve ekibi [23], hedefin görüntü içerisindeki konumunun ve kapladığı alanın hassas bir şekilde belirlenmesinin, tespit ve analiz süreçleri açısından kritik bir faktör olduğunu belirtmiştir. Güncel olarak, Sawahn et al. (2025) centroid tabanlı nesne tespit yöntemlerinin küçük nesnelerde merkez hassasiyetini artırdığını göstermiştir [24]. Ayrıca, Wang ve arkadaşları (2022), YOLOv9-seg ile segmentasyon maskeleri kullanılarak yapılan centroid hesaplamasının bounding box tabanlı yöntemlere göre daha yüksek doğruluk sağladığını vurgulamıştır [25].

Canny kenar algılama, laplasyen tabanlı bir kenar algılama operatördür. Görüntü gradyanının yerel maksimumlarını tespit ederek kenarları belirler. Bu yöntem, birinci türevin ekstremum noktalarında ikinci türevin sıfır geçişlerini analiz eder ve kenar tespitini bu şekilde gerçekleştirir [26].

Bu çalışma, görüntü işleme destekli hedef tespiti, hizalama ve ateşleme işlemlerini entegre eden bir sistem sunarak mevcut literatüre katkı sağlamaktadır. Deneyler, kontrollü laboratuvar koşullarında; sistemin 5 m menzilde sabit konumlandırılmış çeşitli renk ve geometrideki balonları tarayarak yalnızca kırmızı olanları tespit edip ateşlemesini sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistem yalnızca laboratuvar ortamında test edilmiş olup, insan veya canlı üzerinde herhangi bir uygulama yapılmamıştır. Elde edilen sonuçlar, sistemin sabit hedeflerde yüksek doğrulukla çalıştığını

ortaya koymakta; gelecekte yapılacak çalışmalar ile hareketli hedefler, farklı ışık koşulları ve gelişmiş görüntü işleme algoritmaları doğrultusunda sistemin performansının daha da artırılması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

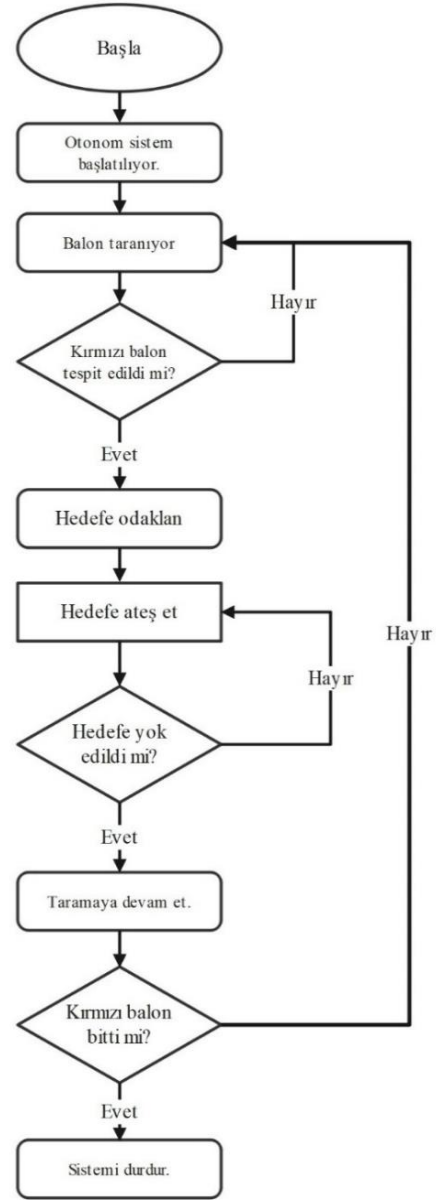
Bu çalışmada, laboratuvar ortamında yaklaşık 5 metre mesafede yerleştirilmiş sabit, farklı renk ve boyutlardaki balonlar arasından yalnızca kırmızı renkli olanları tespit ederek imha edebilen, görüntü işleme ve kontrol mekanizması geliştirilerek iki eksenli bir otonom silah sistemine entegre edilmiştir. Sistem, hedef tespiti için Jetson Nano mikroişlemci platformu, görüntü işleme için Python programlama dili ve OpenCV kütüphanesi ile yapılandırılmış; mekanik yönlendirme için step motorlar, ateşleme için ise solenoid valf tabanlı bir mekanizma kullanılmıştır. Sistem, sabit hedefleri analiz ederek tespit edilen kırmızı balonların merkez noktalarına ateşleme gerçekleştirmektedir. Geliştirilen sistemin genel akış şeması Şekil 1’de sunulmuştur.

Sistem hareket mekanizması, step motorlar ile sağlanmaktadır. Yazılım, step motorların dikey ve yatay ekseninde dönme açısını hesaplayarak sistemin hareket kabiliyetini belirlemektedir. Ateşleme mekanizması, görüntü işleme algoritması tarafından verilen komut doğrultusunda solenoid valfe akım uygulanarak tetik mekanizmasının çalıştırılmasıyla gerçekleşmektedir. Böylece, plastik ya da çelik bilye mühimmatla çalışan, düşük güçlü ve yaralanmaya neden olmayan bir model silah türü olan airsoft tabanca hedefe yönlendirilerek ateşleme gerçekleştirilmektedir.

Sistem yazılımında, Jetson Nano üzerinde GPIO pin kontrolü sağlamak için “JETSON.GPIO” kütüphanesi kullanılmıştır. Yatay ekseninde 180° ve dikey ekseninde 25°’lik bir tarama alanı 5°’lik adımlar hâlinde gerçekleştirilmiş; toplamda 21 adımdan oluşan bir tarama dizisi programlanmıştır. Bu düzende ilk adımda sistem 45° sağa döner, ardından 90° sola ve 90° sağa hareket ederek tam kapsamlı bir alan taraması yapılmaktadır.

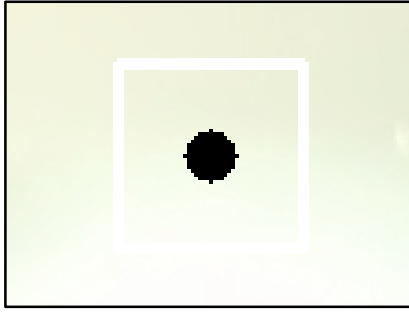
Balon imha sürecinde, kamera görüntüsündeki hedefin tam olarak merkezlenmesini sağlamak için kamera odak noktası ile silahın namlu ucu

arasındaki konumsal fark test edilerek sistemin hedefleme doğruluğu artırılmıştır. Bu süreci görsel olarak desteklemek amacıyla, gerçek zamanlı görüntü üzerinde 50x50 piksel boyutlarında beyaz bir çerçeve ve merkezine yerleştirilmiş 7 piksellik siyah bir referans noktası tanımlanmıştır.



Şekil 1. Akış diyagramı.

Geliştirilen yazılım, kırmızı balonun bu çerçevenin %70’inden fazlasını kapladığını veya balonun ağırlık merkezinin referans noktası ile çakıştığını tespit ettiğinde, otomatik olarak ateşleme işlemini başlatmaktadır. Bu hedef merkezleme yaklaşımı Şekil 2’de sunulmaktadır.



Şekil 2. Beyaz çerçeve.

Ateşleme sistemi, solenoid valf ile tetiklenmektedir. Sistem ateşleme komutunu aldığı anda, Jetson Nano üzerinden röle aracılığıyla solenoid valfe 2 saniye boyunca akım verilecek ve balon imha edilene kadar bu süreç devam edecektir.

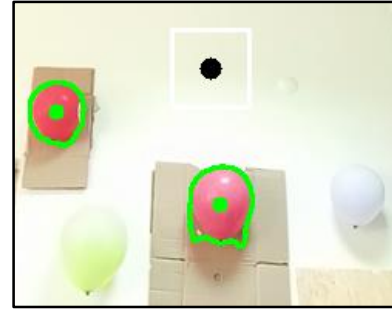
Görüntü işleme sürecinde algoritma, kameradan alınan görüntüleri analiz ederek kırmızı balonları tespit etmeyi ve belirlenen çerçeve içerisine girdiğinde silah sisteminin tetiklenmesini sağlamayı amaçlamaktadır. Python programlama dili ve OpenCV kütüphanesi kullanılarak oluşturulan görüntü işleme süreci; hedef algılama, nesne takibi ve kenar tespiti içermektedir.

Sistem, “cv2.VideoCapture(0)” fonksiyonu ile gerçek zamanlı görüntü yakalamaya başlar ve kamera bağlantısının doğruluğunu “cap.isOpened()” fonksiyonu ile kontrol eder.

Kırmızı balonların tespitinde HSV renk uzayı kullanılarak belirli renk aralıkları tanımlanmıştır. Maskeleme yöntemiyle iki ayrı renk aralığında maskeleme yapılarak kırmızı renkli nesneler tespit edilmiştir. Bu işlemde mask1 ve mask2 adında iki ayrı maske oluşturularak birleştirilmiştir. Böylece kırmızı balonları ayırt etmek için ana bir mask elde edilmiştir.

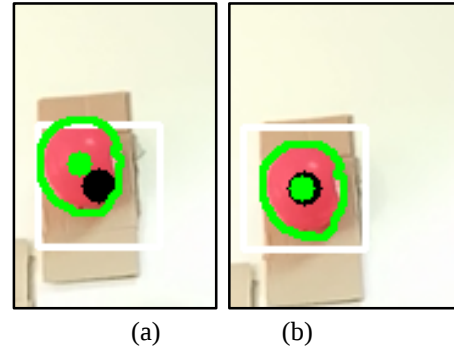
Balonların çevresindeki kenarları belirlemek için Canny kenar algılama yöntemi kullanılmıştır. Görüntüdeki nesnelerin kenar konturları tespit edilerek balonların konumu belirlenmiştir. Gürültüyü azaltmak ve yanlış algılamaları engellemek amacıyla 500 piksel üzerindeki alanlar işleme alınmıştır. Daha sonra, kontur alanı üzerinden moment hesaplaması yapılarak balonların ağırlık merkezleri belirlenmiş ve ekranda işaretlenmiştir. Şekil 3’te balon üzerinde renk

algılama ve ağırlık merkezi algılandığı an gösterilmiştir.



Şekil 3. Kırmızı renk ve ağırlık merkezi tespiti.

Sistemin karar verme sürecinde, tespit edilen kırmızı balon ile beyaz çerçevenin merkezi arasındaki mesafe kamera vasıtasıyla alınan görüntü üzerindeki piksel olarak kod üzerinden hesaplanmıştır. Eğer bu mesafe 15 pikselin altına düşerse, balonun hedefin merkezine girdiği kabul edilerek motorların durdurulması ve solenoid valfin tetiklenmesi sağlanmıştır. Şekil 4’te merkez 15 pikselden az olduğu an ve merkezlerin çakışma anı gösterilmiştir. Bu durumlarda ateşleme gerçekleştirilecektir.



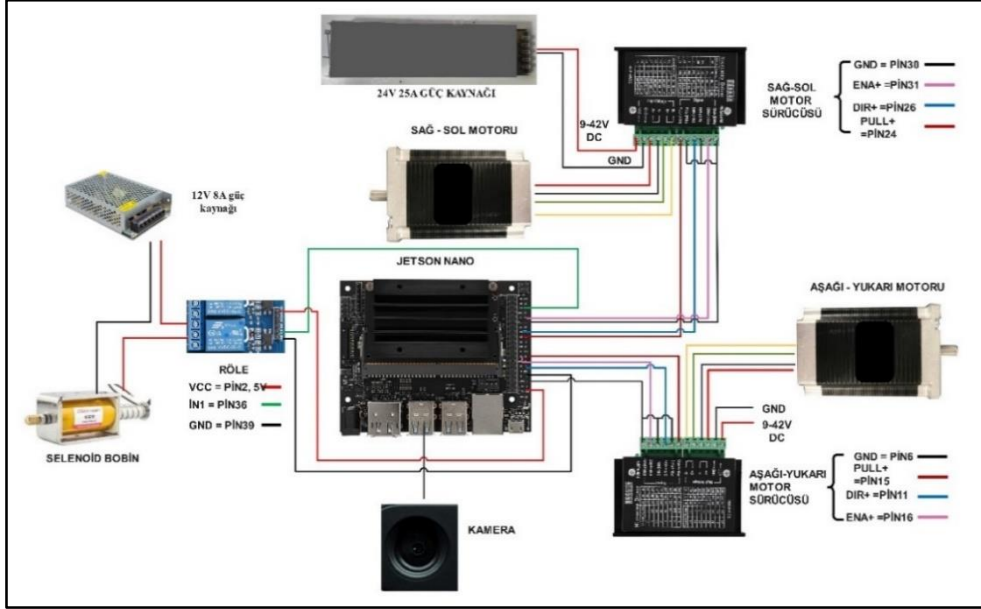
Şekil 4. a) iki merkez arasında 15 pikselden az olduğu an, b) merkezler çakışınca.

Robot uygulamalarında en yaygın kullanılan mikroişlemci kartları arasında Raspberry Pi 4 ve Nvidia Jetson Nano bulunmaktadır. Çalışmalarda fiyat-performans analizleri incelendiğinde, Raspberry Pi 4 daha uygun maliyetli bir seçenek olarak öne çıkarken, Jetson Nano sahip olduğu grafik işlemci birimi (GPU) tabanlı paralel işlem gücü ile daha yüksek doğruluk oranı sunmaktadır. Bu nedenle, projelerde tercih edilen mikroişlemci kartı, kullanım alanı ve performans gereksinimlerine göre belirlenmektedir.

Bu çalışma, Gördü ve Arvas [27] tarafından geliştirilen iki eksenli otonom silah

mekanizması temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Jetson Nano mikroişlemci kartı, sahip olduğu GPU destekli yüksek işlem kapasitesi sayesinde görüntü işleme algoritmalarının daha hızlı ve verimli çalışmasını sağlamakta; bu yönüyle hedef algılama ve imha süreçlerinde üstün performans

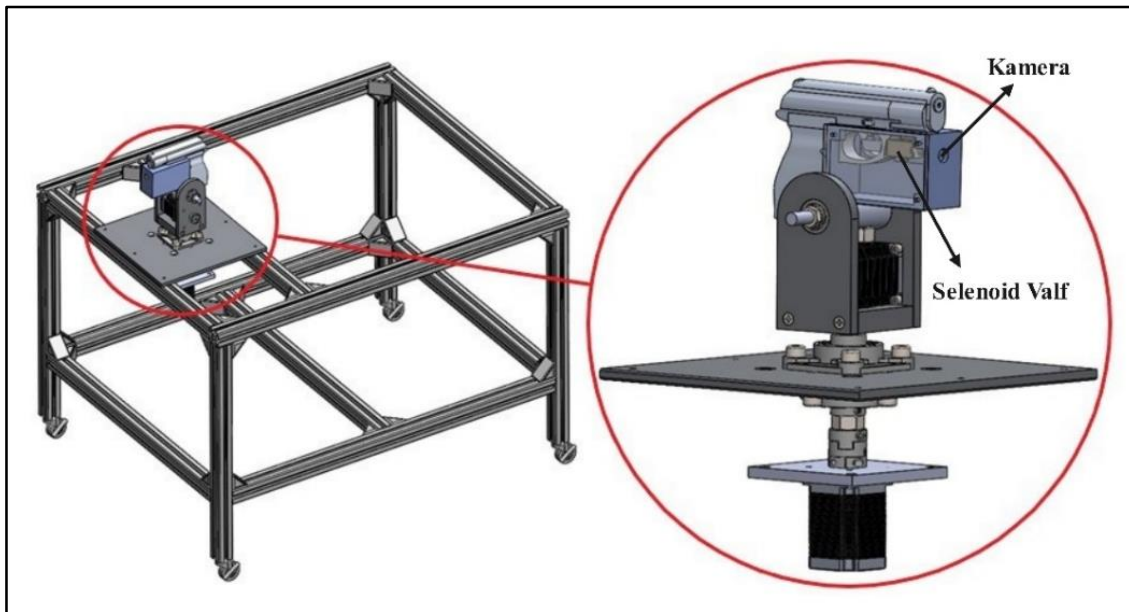
sunmaktadır. Sistem içerisinde step motorlar, sürücüler, solenoid valf, kamera modülü ve röle devresi gibi birimler Jetson Nano ile entegre biçimde çalışmakta; bu bileşenlerin bağlantı yapısı Şekil 5'te sistemin ana bağlantı şeması referans alınmıştır [27].



Şekil 5. Sistem bileşenleri ve bağlantı şeması [27].

Şekil 6'da sistem modeli yer almakta olup, bu model doğrultusunda sistemin mekanik yapısı tasarlanmıştır. Yatay ve dikey ekseninde hareket kabiliyeti olan mekanizma, hedefe yönelim ve

doğrultma işlevini yerine getirmektedir. Bu çalışmada yapılan görüntü işleme ve kontrol kodu bu sistem üzerinde test edilmiştir.



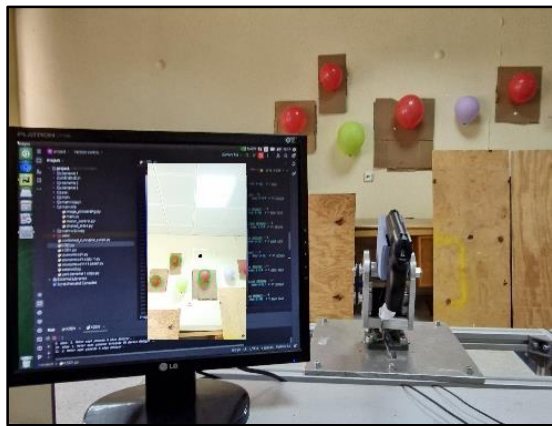
Şekil 6. İki eksenli otonom silah mekanizması katı model görüntüsü [27].

Sistemde kullanılan elektronik bileşenlerin güvenli ve düzenli bir şekilde çalışmasını sağlamak üzere, Jetson Nano mikroişlemcisi, step motor sürücüler, röle modülü ve güç kaynakları pano üzerinde kompakt bir yapıda konumlandırılmıştır. Kablo düzeni; parazit, temas ve bağlantı hatalarını önleyecek şekilde dikkatle tasarlanmıştır. Şekil 7’de bu sistem panosunun genel yerleşim düzeni görsel olarak sunulmaktadır.



Şekil 7. Sistem panosu [27].

Şekil 8’de, sistemin gerçek zamanlı testine ait bir görüntü sunulmaktadır. Görselde, farklı renk ve boyutlardaki balonlar hedef tahtasına yerleştirilmiş olup, sistem görüntü işleme algoritması aracılığıyla yalnızca kırmızı balonu başarıyla tespit etmiş ve merkezleme işlemini gerçekleştirmiştir. Bu testler, 5 metre mesafeye yerleştirilmiş sabit hedefler kullanılarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş, ateşleme süreci sırasında gerekli tüm güvenlik önlemleri alınmıştır. Test düzeneği yalnızca zararsız ve kontrollü deneysel amaçlı hedefler içermektedir.



Şekil 8. Test anında alınan görüntü.

Geliştirilen sistem, laboratuvar ortamında yapılan testlerle değerlendirilmiş olup, sabit

konumda yerleştirilen farklı renk ve boyuttaki balonlar arasından yalnızca kırmızı renkli hedeflerin tespit edilip imha edilmesi amaçlanmıştır. Testler, yaklaşık 5 metre mesafeden görüntü işleme algoritmaları yardımıyla elde edilen ağırlık merkezi konumu ve çerçeve uyumu doğrultusunda solenoid valf tetiklenerek gerçekleştirilmiştir.

Sistemin tespit, hizalama ve ateşleme işlemleri tamamen otonom bir döngü içerisinde çalışacak şekilde yapılandırılmıştır. Testler, alınan güvenlik tedbirleri altında ve herhangi hiçbir canlıya zarar verilmeden gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler, sistemin sabit hedefler üzerindeki başarımını değerlendirmek ve sonraki aşamalarda hareketli hedeflere yönelik iyileştirmeleri planlamak açısından temel oluşturmuştur.

3. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada, geliştirilen görüntü işleme ve kontrol mekanizması iki eksenli otonom bir silah sistemine entegre edilmiş ve performansı laboratuvar ortamında yapılan deneysel testlerle değerlendirilmiştir. Testler, yaklaşık 5 metre mesafedeki sabit konumdaki farklı renk ve boyuttaki balonlar arasından yalnızca kırmızı balonların tespit edilerek imha edilmesini hedeflemiştir. Jetson Nano mikroişlemci ile bütünleşik çalışan Python tabanlı görüntü işleme algoritmaları sayesinde hedef tespiti yüksek doğrulukla gerçekleştirilmiştir. HSV renk uzayı kullanılarak yapılan maskeleyme, Canny kenar algılama ve ağırlık merkezi hesaplama algoritmaları sistemin tespit doğruluğunu artırmıştır.

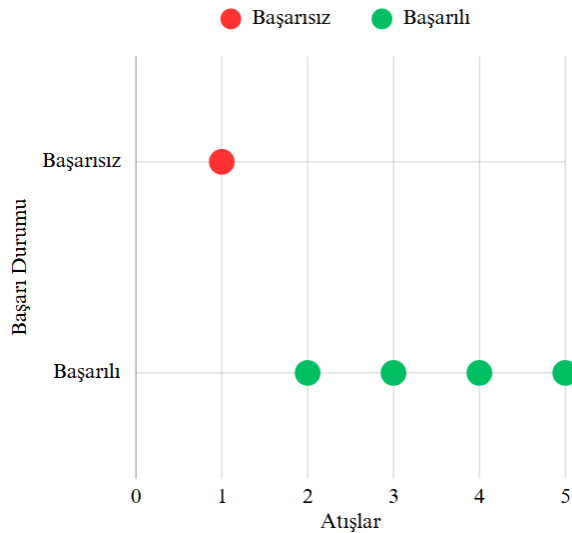
Sistem, belirlenen %70 çerçeve doluluğu veya ağırlık merkezi çakışma durumlarında ateşleme kararı vermekte; solenoid valf aracılığıyla airsoft silahı tetikleyerek hedefi imha etmektedir. Yapılan testlerde toplamda dört kırmızı balon hedef alınmış, sistem beş atış gerçekleştirmiştir. İlk atışta başarı oranı %75, toplam ateşleme başına başarı oranı ise %80 olarak ölçülmüştür.

Deney süresince sistemin verdiği tepkiler, tespit ve imha zamanları Çizelge 1’de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 1. İki eksenli otonom silah sisteminde OpenCV ile hedef imha sonucu.

Zaman (sn)	Olay
13.45	Kırmızı balon tespit edildi, motorlar durduruldu, valf 2 saniye aktif hale getirildi, balon imha edilmedi, tekrar valf aktif hale getirildi, balon imha edildi.
17.85	Motorlar taramaya devam etti.
25.36	İkinci balon tespit edildi, motorlar durduruldu, valf 2 saniye aktif hale getirildi, balon imha edildi.
27.55	Motorlar taramaya devam etti.
39.2	Üçüncü balon tespit edildi, motorlar durduruldu, valf 2 saniye aktif hale getirildi, balon imha edildi.
41.52	Motorlar taramaya devam etti.
47.15	Dördüncü balon tespit edildi ve imha edildi.
80.30	Motor 21 adımı tamamladı, tüm balonlar başarıyla imha edildi.

Elde edilen bu veriler, sistemin hedef tespit ve imha konusunda yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, atış başarı oranlarını görselleştirmek amacıyla Şekil 9'da grafiksel bir temsil sunulmuştur.

**Şekil 9.** Atış sonuçları.

Sonuç olarak, sistem sabit hedefler üzerinde %75 ilk atış başarı, toplamda %80 imha başarı ile etkili sonuçlar vermektedir. Bazı durumlarda hedefin tam hizalanamaması nedeniyle ikinci bir ateşleme gerekmiştir. Bu da sistemin tepki süresi ve hedef merkezleme hassasiyetinin geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, görüntü işleme algoritmaları ve hareket kontrol mekanizmalarının geliştirilmesi ile sabit hedeflerin tespiti ve imhasına yönelik iki eksenli bir otonom silah sistemin airsoft (havalı) tabanca ile entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen atış testleri sonucunda, sistemin

kullanılan Jetson Nano mikroişlemci kartı sayesinde kırmızı balonları yüksek doğrulukla tespit ettiği ve ateşleme işlemini başarıyla gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. Jetson Nano'nun yüksek işlem kapasitesi sayesinde görüntü işleme süreci hızlandırılmış ve hedef doğruluk oranı hassas olarak düzeltilmiştir. Deneyisel veriler, motor hareket algoritmasının sistemli bir şekilde çalıştığını, hedeflerin doğru biçimde hizalandığını ve imha sürecinin etkin bir şekilde tamamlandığını ortaya koymaktadır.

Görüntü işleme sürecinde kullanılan HSV maskeleye ve kontur çıkarımı algoritmaları ile hedefin belirlenen çerçeveye girip girmediği başarılı biçimde analiz edilmiştir. Öte yandan, gerçekleştirilen bazı test senaryolarında hedefin tam hizalanamaması nedeniyle ikinci ateşleme ihtiyacı doğmuş ve bu durum sistemin tepki süresi ile hassasiyetinin iyileştirilmesi gerektiğine işaret etmiştir.

Bu sonuçlardan hareketle, geliştirilen sistem; sabit hedefler üzerinde yüksek imha başarı, kararlı hedef tespiti ve güvenilir işlem süreci ile otonom silah sistemleri alanında önemli bir potansiyel sergilediği söylenebilir.

Gelecek çalışmalarda sistemin, hareketli hedefler üzerinde test edilmesi, derin öğrenme destekli hedef sınıflandırması ve termal kamera donanımının kullanılması ile doğruluk oranının ve yanıt süresinin daha da iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Tübitak tarafından 2209-A kategorisinde 1919B012316704 numaralı projeye verdikleri destekten dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Atlı, M., "Otonom sistemlerin savaş ve savaş hukukuna etkisi", Akademik Düşünce Dergisi, Sayı 6, Sayfa 3-21, 2022.
2. Yılmaz, S., "Bir robot kolu mekanizmasında adım motorları vasıtasıyla verilen koordinatlara hareketin gerçekleştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Nisan 2006.
3. Erkut, R., Efendioğlu, B., Yılmaz, H. S., Özsoy, K., "Hedefe odaklanan insansız hava aracının üç boyutlu baskı teknolojisi ile üretimi ve kontrolü", International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, Cilt 7, Sayı 3, Sayfa 571-587, 2023.
4. Özer, A., "Savaşlarda üçüncü devrim otonom silah sistemleri ve insancıl hukuk", Sayfa 251-270, Tasam Yayınları, İstanbul, 2019.
5. Van Engers, T., Kwik, J., Zurek, T., "Model of a military autonomous device following international humanitarian law", Ethics and Information Technology, Vol. 25, Issue 1, Pages 1–12, 2023.
6. Wagner, M., "Taking humans out of the loop: implications for international humanitarian law", Journal of Law, Information and Science, Vol. 21, Pages 155–165, 2011.
7. Eren, H., Kılıç, A., "Örgütlerde yenilikçilik ortamı: özellikli bir sektör olarak savunma sanayiinde durum", Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt 27, Sayı 3, Sayfa 221–244, 2013.
8. Zıylan, A., "Savunma nereden nereye? türkiye’de savunma sanayi tarihçesi", Ulusal Strateji Dergisi, Cilt -, Sayı Kasım/Aralık, Sayfa 2–9, 2001.
9. Best Grup, "İnsansızlaştırma", <https://bestgrup.com/hizmetler/insansizlastirma/>, Şubat 12, 2025.
10. Usta, M.A., Akyazı, Ö., Akpınar, A.S., "Bilgisayar üzerinden bir silah kontrol sistemi prototipinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Sayfa 240–244, Elazığ, 2011.
11. Das, G., Anwar, N., Chowdhury, S., Rahman, K.A., "Design and fabrication of an image processing based autonomous weapon", International Journal of Engineering Research, Cilt 5, Sayı 12, Sayfa 931–935, 2016.
12. Kalan, Y. Ç., ve Akman Aydın, E., "Rehabilitasyon uygulamalarına yönelik el ve parmak hareketlerini taklit eden robot el tasarımı", Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 12, Sayı 4, Sayfa 1385–1391, 2023.
13. Chen, X., Zhang, Y., and Zhang, J., "Real-time object detection for autonomous vehicles using nvidia jetson nano", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 21, No. 5, pp. 2121–2134, 2020.
14. Fernandes, S., Duseja, D., Muthalagu, R., "Application of image processing techniques for autonomous cars", Proceedings of Engineering and Technology Innovation, Sayfa 1–8, –, 2021.
15. Rosebrock, A., Deep Learning for Computer Vision with Python, PyImageSearch, 2017.
16. Gupta, A., "Top python libraries for image processing in 2021", Analytics Vidhya, <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/04/top-python-libraries-for-image-processing-in-2021/>, Ocak 30, 2025.
17. Beyeler, M., "OpenCV with Python Blueprints", Sayfa –, Packt Publishing Ltd, Birmingham, 2015.
18. Turanlı, M., Arslan, S., & Özdemir, A. A., "Lazer güdümlü hedef takibi yapan robotik düzeneği tasarımı" TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2008.
19. Düzen, E., "Dört rotorlu döner kanat tipi İHA ile otonom yangın algılayıcı-söndürücü tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Karaman, 2023.
20. Erkut R., Efendioğlu B., Yılmaz H. S., Özsoy K., "Hedefe Odaklanan İnsansız Hava Aracının Üç Boyutlu Baskı Teknolojisi ile Üretimi ve Kontrolü" Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 7(3): 571-587, 2023.
21. Bingöl, M. S., Kaymak, Ç., Uçar, A., "Derin öğrenme kullanarak otonom araçların insan sürüşünden öğrenmesi", Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 31, Sayı 1, Sayfa 177-185, 2019.
22. Singh, A., Kumar, R., Tripathi, R. P., Arya, U., "Vehicle target area and tyre detection image processing technique", 2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC), Sayfa 368-371, 2016.
23. Wren, C. R., Azarbajani, A., Darrell, T., Pentland, A. P., "Pfinder: real-time tracking of the human body", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Cilt 19, Sayı 7, Sayfa 780-785, 1997.

24.Sawahn, F., El-Maari, M., Al-Hamid, A., “Efficient Centroid-Based Object Detection for Maritime High-Altitude UAV,” WACV Workshop on Maritime Computer Vision, 2025.

25. Wang, J., Liu, Y., Zhang, H., Chen, K., “Segmentation-Based Centroid Matching for Image Rectification via YOLOv9-seg,” Applied Sciences, Cilt 15, Sayı 9, Sayfa 4962-4975, 2022.

26.Oduncuoğlu, R. E., Öztimur Karadağ, O., “Kenar algılama algoritmaları arasında nesnel performans karşılaştırması”, European Journal of Science and Technology (ECJSE), Cilt 9, Sayı 4, Sayfa 1290-1302, 2022.

27.Gördü, E. N., Arvas, M. A. “İki eksenli otonom silah mekanizması”, Lisans Bitirme Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, 2024