



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Silahlı insansız hava araçları için namlu mekanizması analizi

Barrel mechanism analysis for armed unmanned aerial vehicles

Yazar(lar) (Author(s)): Alper Hasan KOCATAŞ¹, Duygu GÜRKAN KOCATAŞ^{2*}, İhsan KORKUT³

ORCID¹: 0000-0002-6112-8716

ORCID²: 0000-0002-2917-3330

ORCID³: 0000-0002-5001-4449

To cite to this article: Kocataş A.H.,Kocataş Gürkan D. ve Korkut İ., “Silahlı İnsansız Hava Araçları İçin Namlu Mekanizması Analizi”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 211-219, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Kocataş A.H.,Kocataş Gürkan D. ve Korkut İ., “Silahlı İnsansız Hava Araçları İçin Namlu Mekanizması Analizi”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 211-219, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1079334

Silahlı İnsansız Hava Araçları İçin Namlu Mekanizması Analizi

Barrel Mechanism Analysis for Armed Unmanned Aerial Vehicles

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Silahlı İnsansız Hava Araçları. / Armed Unmanned Aerial Vehicles.
- ❖ Konsept tasarım. / Concept design.
- ❖ Matematiksel modelleme. / Mathematical modelling.
- ❖ Simülasyon. / Simulation.
- ❖ Analiz. / Analysis.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Silahlı insansız hava aracına (SİHA) ait, hareket halindeki bir hedefi takip eden ve farklı açılarda atış yapabilen bir silah sistemi konsept tasarımı yapılmıştır. Silah sistemine ait matematiksel model, karmaşık sayılar kullanılarak oluşturulmuştur. Matematiksel modellemeden elde edilen parametrik fonksiyonlar, bilgisayar destekli hareket simülasyonu verileri ile kıyaslanmıştır. / A weapon system concept design of an armed unmanned aerial vehicle (AUAV) capable of shooting at different angles, tracking the target in motion, aiming and firing has been made. The mathematical modeling of this vehicle's weapon system was created using complex numbers. Parametric functions obtained from mathematical modeling were compared with computer aided motion simulation data.



Şekil. Silahlı İnsansız Hava Aracı / Figure. Armed Unmanned Aerial Vehicle

Amaç (Aim)

Güdümsüz mühimmatları hareket halinde iken ateşleyebilen bir SİHA silah sistemi modellemesi gerçekleştirmek hedeflenmiştir. / It is aimed to model a SİHA weapon system that can fire unguided ammunition while in motion.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Matematiksel modelleme ve konsept tasarım oluşturulmuş; nümerik analizler, bilgisayar analizleri ile karşılaştırılmıştır. / Mathematical modeling and concept design were created and compared with numerical and computer analysis.

Özgünlük (Originality)

Matematiksel modellemeye bağlı olarak özgün konsept tasarım oluşturulmuş ve simülasyonları yapılmıştır. / Based on the mathematical modeling, original concept design was created, and simulations were made.

Bulgular (Findings)

Matematiksel denklemlerden ve hareket simülasyonundan elde edilen değerlerin tutarlı olduğu görülmektedir. / It is seen that the values obtained from the mathematical equations and motion simulation are consistent.

Sonuç (Conclusion)

Kamera alt sisteminin hava aracı gövdesine göre olan referans açısı, hedefe atış yapılmasını sağlamıştır. / The reference angle of the camera subsystem with respect to the aircraft fuselage enabled firing at the target.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Silahlı İnsansız Hava Araçları İçin Namlu Mekanizması Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Alper Hasan Kocataş, Duygu Gürkan Kocataş*, İhsan Korkut

İmalat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 25.02.2022 ; Kabul/Accepted : 31.05.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 25.07.2022)

ÖZ

Silahlı insansız hava araçlarının ve bu araçların gelecekteki farklı nesillerinin tasarım ve imalatına vizyonlu bir bakış açısı sunacak bu çalışmada; özel kuvvetler ve askeri taktik kullanım alanına uygun, mini insansız hava aracı konsept tasarımı yapılmıştır. Söz konusu araç; yatay, dikey ve ara açılarda atış yapabilen, hedefi hareket halinde takip eden, nişan alıp ateşleme yapabilen bir silah sistemine sahip taktik silahlı insansız hava aracıdır (SİHA). Tasarımın, silah sistemine ait matematiksel modellemesi karmaşık sayılar kullanılarak oluşturulmuştur. Yapılan matematiksel modelleme bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Elde edilen parametrik veriler, bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlar ile doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silahlı insansız hava araçları, lançer, silah sistemleri, matematiksel modelleme, taktik robotlar.

Barrel Mechanism Analysis for Armed Unmanned Aerial Vehicles

ABSTRACT

In this study, which will provide a visionary perspective on the design and manufacture of armed unmanned aerial vehicles and their different generations in the future; A concept design of a mini unmanned aerial vehicle suitable for Special Forces and military tactical use was made. The vehicle which is a tactical armed unmanned aerial vehicle (AUAV) with a weapon system capable of shooting at horizontal, vertical and intermediate angles, tracking the target in motion, aiming and firing. The mathematical modeling of the design for the weapon system was created using complex numbers. The mathematical modeling was transferred to the computer calculations programs. The parametric data calculated were verified by simulations made on the computer.

Keywords: Armed unmanned aerial vehicle, launcher, weapon systems, mathematical modelling, tactical robots.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda insansız hava araçları, hemen hemen tüm alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Gün geçtikçe çevremizde daha fazla gördüğümüz insansız hava araçlarının pazar payının 2015-2025 yılları arasında 90.000.000.000 dolar olacağı tahmin edilmektedir [1-3]. Askeri alanda ise İHA'lar keşif, gözetleme ve operasyonlu faaliyetler başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır. Havacılık otoriteleri, Joint Strike Fighter (JSF) kapsamında üretilen F-35 savaş uçağının insanların kullandığı son savaş uçağı olacağını [4] ve altıncı nesil savaş uçaklarıyla birlikte artık insansız uçak kullanımının tamamen yaygınlaşacağını öngörmektedir [5].

Silahlı insansız hava araçlarının (SİHA) mekan ve zamanının belirli olması, ekonomikliği, çatışma bölgesinden uzak kullanımı ile güvenlik riski taşıması gibi hususlar, ordular açısından temel üstünlük kazanımlarını ifade etmektedir [1]. Düşük hızları ilk etapta bir dezavantaj olarak görülse de, çok yüksek irtifalarda saatlerce hedefi gözetleyerek net bir istihbarat

sağlama avantajı genellikle ön plana çıkmaktadır. Bu avantaj ile bölgedeki en küçük hareketlilik bile uzak mesafeden fark edilerek raporlanabilmektedir.

SİHA'ların ülke iç güvenliğini sağlama amacı ile kullanılması özellikle son on yılda gelişme göstermiştir. Hâlihazırda birçok ülkede farklı tip ve modelde SİHA'lar; keşif maksatlı özel harekât operasyonlarında, ülke sınırlarının güvenliğinde, suç takibi ve yer analizinde yoğun olarak kullanılmaktadır [6]. Şekil 1'de SİHA'lara örnek olarak Songar görülmektedir [7].



Şekil 1. Songar silahlı insansız hava aracı (SONGAR armed drone) [7]

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : duyugurkan@gazi.edu.tr

SİHA'lar, belirli bir standart içerisinde, belirli bir menzilde görev yapabilecek şekilde imal edilmektedirler. Genel olarak yüksek çözünürlükte silah sistemleri, optik sistemler, radarlar ve lazer hedefleme sistemlerine sahiptirler.

İnsansız hava araçlarında silah sistemi, görüntüleme sistemi ve bu sistemle tahrik edilen hareketli namlu mekanizması olmak üzere iki alt sistemden oluşmaktadır. Sistem, operatörün hedefe baktığı kamera açısına bağlı olarak anlık hareket etmektedir. Silah sistemine ait temel elektronik donanımlar; lazer mesafe okuyucu, kamera, servo motorlar, enkoderler ve bu donanımları süren kontrol kartı/kartlarıdır. Silah sistemleri, telemetri sistemleri vasıtasıyla kontrol edilebileceği gibi, son zamanlarda sıklıkla kullanılan görüntü işleme teknolojileri ile otonom olarak da sürülebilir. Hareketli nesne algılamanın sıralı bir akışı, sınıflandırılması, davranışın izlenmesi ve tanımlanması, görüntü işlemenin çalışma prensibini tamamlayıcı niteliklerdir [8]. Günümüz teknolojilerinde yapılan araştırmalar sonucunda, elektronik görüntü hizalama tekniklerinin de gelişmesi ile sabitlenmiş görüntüler hava kameralarında gerçek zamanlı olarak elde edilmektedir [9]. Otonom hedefleme sistemlerine sahip silah sistemlerini geliştirmek amacıyla ayrıca yapay zekâ teknolojileri de kullanılmaktadır [10]. Ekmen ve arkadaşları, görüntü işleme ile havadaki bir İHA'nın zemin üzerindeki renkli bir alana otonom olarak inmesini sağlamışlardır. Otonom iniş için gerekli olan ve anlık kontrol edilen değerleri, kamera görüntüsü kullanarak değerlendirmişlerdir [11].

İHA ve SİHA'ları geliştirmek, kullanımını yaygınlaştırmak üzere farklı tasarım çalışmaları da devam etmektedir. Yayla ve arkadaşları, silahlı bir uçak sisteminin tasarım ve performans gereksinimleri için senaryolar oluşturmuş ve bir yöntem ortaya koymayı amaçlamışlardır [12]. Nişancı ve arkadaşları, yıldırım darbelerinin SİHA'lar üzerindeki etkilerini farklı gövde malzemeleriyle analiz etmiş, geri dönüş darbe akımının mükemmel elektriksel iletken (PEC) için daha yüksek olduğunu ve alüminyum ile kompozit malzemenin birbirine yakın sonuçlar verdiğini gözlemişlerdir [13]. Ramesh ve Jeyan; boyut, menzil, dayanıklılık, çalışma irtifası, maksimum kalkış ağırlığı (MTOW) gibi parametrelerin mini İHA'ların kullanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Sadece askeri araçlar için değil, sivil araçlar için de parametrelerin önemli olduğunu belirlemişlerdir [14].

Literatürde var olan çalışmalar incelendiğinde, SİHA'lar üzerine yapılan çalışmaların daha çok insansız hava aracının tasarımı ve modellemesi üzerine olduğu, silah sistemlerinin ise orta ve büyük boyutlu SİHA'lar için tasarlandığı görülmüştür. Taktik mini döner kanat SİHA'ların hareket halinde iken atış yapamaması, hareket halinde atış yapabilenlerin ise sadece güdümlü füzeler kullanması günümüz SİHA ve savunma endüstrisinin karşılaştığı sorunlardan bazılarıdır. Ayrıca, kompensatör mekanizmaları olmasına rağmen, üzerine silah sistemi eklenmiş hava araçlarında hedef kameraları titreşime maruz kalmaktadır. Günümüzde, özel kuvvetler

ve askeri güçlerin savunma sektöründeki ihtiyaçları doğrultusunda, özgün olarak taktik mini SİHA ve bu SİHA'ya ait silah sistemi tasarımı ihtiyacının önemi artmıştır.

Bu çalışmada; değişken tüm açılarda nişan alıp atış yapabilen, hareketli bir hedefi takip edebilen mini bir SİHA'ya ait yeni bir silah sistemi namlusu için matematiksel modelleme ve simülasyon yapılmıştır. Çalışma, güdümlü mühimmatlardan ziyade güdümsüz mühimmatların (roket, mermi vb.) maksimum isabet etmesini sağlama esasına dayanmaktadır. Silah namlu mekanizması, son kullanıcı operatör tarafından tahrik edilebilmektedir. Çalışmanın bir diğer avantajı ise bağımsız bir lazer mesafe okuyucu-kamera modülü ile etkileşimli olarak çalışmasıdır. Lazer mesafe okuyucu-kamera modülünün namlu mekanizmasının üzerinde olmaması, farklı yapıda tasarlanan hava araçlarında ve kütle merkezi değişimi gerektiren durumlarda kullanılmasını sağlamaktadır. Sistem, görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojileri ile uyumlu olarak, hedefi otonom takip edecek alt sistemlerin özellikleri göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

2.TASARIM (DESIGN)

2.1. Konsept Tasarım (Concept Design)

Silah sisteminin tasarımına başlamadan önce sınırlar, tasarım konseptine uygun olan gereklilikler doğrultusunda belirlenmek zorundadır. Bu sınırlar; boyut faktörü, elektronik donanım özellikleri ve silah sisteminin istenilen mekanik özellikleridir (örneğin; 0-90° arasında namlu hareketi). Ayrıca kullanılacak mühimmat özellikleri de silah sistemi tasarımını etkileyen ana faktörlerden biridir.

İnsansız hava araçları; nano (250 gr'a kadar), mikro (250 gr-2 kg), minyatür veya küçük (2-25 kg), orta (25-150 kg) ve büyük (150 kg'ın üzerinde) olmak üzere ağırlığına göre 5 kategoride değerlendirilebilir [15]. Minyatür, yani mini insansız araçların ağırlığı 2-25 kg arasındadır ve taktik kullanım için uygun olduğu görülmektedir. Bu çalışmada limitler, mini insansız hava araçları esas alınarak seçilmiştir. Mini insansız hava aracına göre tasarlanacak silah sisteminin de benzer şekilde, küçük boyutlarda olması gerekmektedir.

Tasarımı yapılan insansız hava aracının gövde tipi, H-Tipi olarak belirlenmiştir. H-Tipi gövdenin en büyük avantajı, gövde üzerinde modül ve elektronik ekipman montajı için alternatifli konumlama imkanı bulunmasıdır [16]. Döner kanadın ise, kasa tasarım ölçülerine göre yaklaşık 700-1100mm arasında tasarlanmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

Stabilizasyonu içeren bir roket; basit seri imalat, düşük maliyet ve kolay kullanım ile karakterize edilen bir silah sistemi kullanılarak elde edilebilir [16-17]. Standart bir roket fırlatma sisteminde eksenal itme kuvveti verilmesi, serbest uçuştan önce dönüş stabilizasyonunu sağlamak için tutma mekanizmalarının, kapalı uçlu fırlatıcıların, uzun fırlatma tüplerinin veya ağır montaj (patlatma)

plakalarının veya benzerlerinin kullanılmasını gerektirmiştir [18]. Spin roketli mühimmatların kapalı uçuşu ve patlatma plakalarına ihtiyaç duymadan çalışabilmesi, imalat kolaylığı ile mini SİHA silah tasarımında kullanılabilirliğini göstermektedir. Sektörel alanda, 40mm ve daha altı çaplarda mühimmat bulmak mümkün olabilmektedir [19]. İkinci olarak, silah sisteminde güdümlü füzeler tercih edilmektedir. Roketsan (Şekil 2) firmasının ürettiği 40mm çapında minyatür lazer füzeleri bu mühimmat tipine örnek olarak gösterilebilir [20-21]. Akıllı mühimmatların boyut olarak küçültülmesi, hasar ve isabet oranlarının artırılması, taktik silahlı insansız hava araçlarında kullanılması kayda değer bir etki yaratmaktadır. Günümüzde geliştirilen tahmin algoritmaları sayesinde üretilen füzelerin rüzgâr açıları olmadan aerodinamik parametrelerin çıkarılması sağlanmaktadır [22].



Şekil 2. ROKETSAN Yatağan 40mm lazer güdümlü füze (Roketsan Yatağan 40 mm laser guided missile) [14]

Yukarıdaki sınırlar ve uygunluk parametreleri esas alınarak taktik mini silahlı insansız hava aracı ve bu araç için silah sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistemin temel gereksinimleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Konsept tasarım gereksinimleri (Concept design requirements)

Boyut	Mini
Gövde	H-Tipi
Mühimmat	40mm Güdümlü/Güdümsüz
Mühimmat Sayısı	6
Mekanizma Özelliği	0-90 Derece Hareketli Namlu
Elektronik Donanım	Lazer mesafe okuyucu Servo Motor Enkoder Kamera Kontrol Kartı Imu Sensor

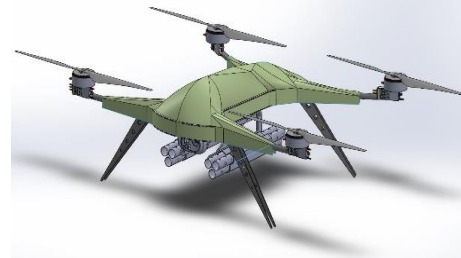
Çizelge 1’de görüldüğü gibi, taktik bir silah sistemi tasarımına uygun olarak farklı mühimmat (güdümlü ya da güdümsüz) çeşitlerinin de kullanılabilmesi için 40mm çapta mühimmatlar tercih edilmiştir. Rüzgâr vektörleri, basınç parametreleri vb. parametreler ihmal edilmiştir. Sistemde açık namlu ve tepme plakaları kullanılmamıştır. Bu nedenle kullanılacak mühimmatın

geri tepme kuvvetini ve sistemde oluşacak titreşimi bertaraf edecek ek bir kompensatör sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Güdümlü akıllı mühimmat ve güdümsüz spin roketin küçük boyutlarda olması, mini insansız hava aracına yerleştirilmesi açısından büyük bir avantajdır. Ayrıca bu şekilde sistemin hafif ve kolay üretilebilir olması sağlanmaktadır.

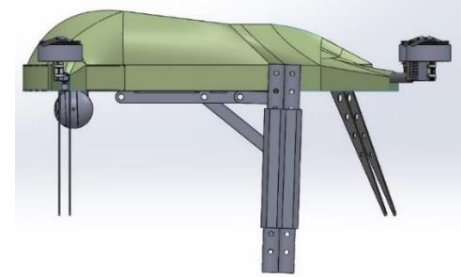
Tasarım üzerine,

- Servo motor-kamera-lazer mesafe okuyucu alt sistemi,
- 0-90° arasında namlu hareketi yapabilen, 3 mühimmat kapasiteli, 2 adet servo kontrollü mekanizma alt sistemi eklenerek silah sistemi tamamlanmıştır.

Servo motorların sürdüğü kamera-lazer mesafe okuyucu ve namlu-servo motor mekanizması sistemlerinin pozisyon kontrollerinin enkoderler tarafından sağlandığı kabul edilmiştir. Şekil 3.a’da mini silahlı insansız hava aracının, Şekil 3.b’de ise mini insansız hava aracına ait silah sisteminin tasarımı gösterilmiştir.



a.



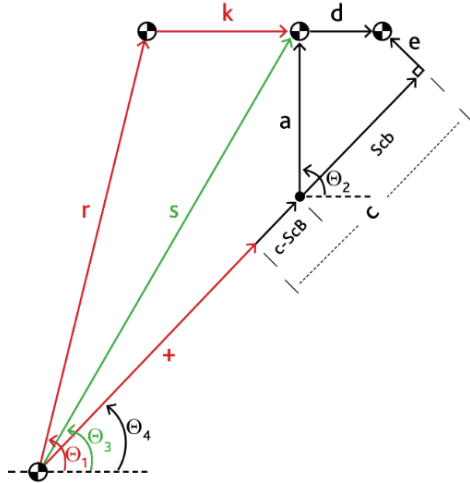
b.

Şekil 3. Konsept tasarımlar a. Taktik silahlı mini insansız hava aracı b. Taktik silahlı mini insansız hava aracı silah sistemi (Concept designs a. Tactical armed mini drone b. Tactical armed mini drone weapon system)

Konsept tasarımı yapılan silah sisteminin matematiksel modellemesi karmaşık sayılar yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

2.2. Matematiksel Modelleme (Mathematical Modelling)

Silah sisteminin parametrik tasarımı ve matematiksel modellemesi, farklı boyut ve büyüklükteki hava araçlarına daha kolay entegre edilebilmesi açısından önemlidir. Silah sisteminin karmaşık sayılarla matematiksel modellemesinin yapılabilmesi için gerekli olan vektörel kurgu Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Silah sistemi vektörel kurgusu (Weapon system vector schedule)

Şekil 4'te gösterilen vektörel kurgu esas alınarak bilinmeyen mesafe ve açıları belirlemek amacıyla denklemler türetilmiştir. Değişken s sanal uzununun mesafesi için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$\vec{k} + \vec{r} = \vec{s} \quad (1)$$

$$k + r.e^{-i\theta_1} = s.e^{-i\theta_3} \quad (2)$$

$$k + r.e^{i\theta_1} = s.e^{i\theta_3} \quad (3)$$

$$k^2 + k.r.e^{i\theta_1} + k.r.e^{-i\theta_1} + r^2 = s^2 \quad (4)$$

$$k^2 + k.r.[e^{i\theta_1} + e^{-i\theta_1}] + r^2 = s^2 \quad (5)$$

$$s^2 = k^2 + k.r.2.\cos \theta_1 + r^2 \quad (6)$$

$$s = \sqrt{k^2 + k.r.2.\cos \theta_1 + r^2} \quad (7)$$

Değişken θ_3 açısı için Denklem 8 yazılır.

$$\vec{k} - \vec{s} = -\vec{r} \quad (8)$$

$$k - s.e^{i\theta_3} = -r.e^{-i\theta_1} \quad (9)$$

$$k - s.e^{-i\theta_3} = -r.e^{-i\theta_1} \quad (10)$$

$$k^2 - k.s.e^{-i\theta_3} - k.s.e^{i\theta_3} + s^2 = r^2 \quad (11)$$

$$k^2 - k.s.[e^{i\theta_3} + e^{-i\theta_3}] + s^2 = r^2 \quad (12)$$

$$k^2 - k.s.2c \cos \theta_3 + s^2 = r^2 \quad (13)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{r^2 - s^2 - k^2}{-2.k.s} \right) \quad (14)$$

Değişken x mesafesinin bulunması için yeni vektör eşitliği (Denklem 15) yazılır.

$$\vec{s} + \vec{d} = \vec{x} + \vec{c} + \vec{e} \quad (15)$$

$$s.e^{i\theta_3} + d = (x+c).e^{i\theta_4} + i.e.e^{i\theta_4} \quad (16)$$

$$s.e^{-i\theta_3} + d = (x+c).e^{-i\theta_4} - i.e.e^{-i\theta_4} \quad (17)$$

x eksenine göre vektörel simetriği ile çarpılır;

$$s^2 + s.d.[e^{i\theta_3} + e^{-i\theta_3}] + d^2 = (x+c)^2 - i.e.(x+c) + i.e.(x+c) + e^2 \quad (18)$$

$$x = \sqrt{s^2 + 2.s.d.\cos \theta_3 + d^2 - e^2} - c \quad (19)$$

Değişken θ_4 açısının bulunması için yeni vektör eşitliği (Denklem 20) yazılır.

$$\vec{s} - \vec{c} + \vec{d} = \vec{x} + \vec{e} \quad (20)$$

$$s.e^{i\theta_3} - c.e^{i\theta_4} + d = x.e^{i\theta_4} + i.e.e^{i\theta_4} \quad (21)$$

$$s.e^{-i\theta_3} - c.e^{-i\theta_4} + d = x.e^{-i\theta_4} - i.e.e^{-i\theta_4} \quad (22)$$

x eksenine göre vektörel simetriği ile çarpılır;

$$-s.c.[e^{i(\theta_3-\theta_4)} + e^{-i(\theta_3-\theta_4)}] + s.d.[e^{i\theta_3} + e^{-i\theta_3}] \quad (23)$$

$$-s.d.[e^{i\theta_4} + e^{-i\theta_4}] = x^2 + e^2 - s^2 - c^2 - d^2 \quad (24)$$

$$-2.s.c.\cos(\theta_3 - \theta_4) + 2.s.d.\cos \theta_3 \quad (25)$$

$$-2.c.d.\cos \theta_4 = x^2 + e^2 - s^2 - c^2 - d^2 \quad (26)$$

K dönüşümü yapılırsa;

$$K_1 = -2.s.c \quad (27)$$

$$K_2 = -2.c.d \quad (28)$$

$$K_3 = x^2 + e^2 - s^2 \quad (29)$$

$$-c^2 - d^2 - 2.s.d.\cos \theta_3 \quad (30)$$

$$K_1.\cos(\theta_3 - \theta_4) + K_2.\cos \theta_4 = K_3 \quad (31)$$

$$K_1.(\cos \theta_3.\cos \theta_4 + \sin \theta_3.\sin \theta_4) + K_2.\cos \theta_4 = K_3 \quad (32)$$

$$K_1.\cos \theta_3.\cos \theta_4 + K_1.\sin \theta_3.\sin \theta_4 + K_2.\cos \theta_4 = K_3 \quad (33)$$

$$\cos \theta_4.(K_1.\cos \theta_3 + K_2) + (K_1.\sin \theta_3).\sin \theta_4 = K_3 \quad (34)$$

Denklem 32'de yarım açı formülü yazılır.

$$(1 - \tan^2 \frac{\theta_4}{2}).(K_1.\cos \theta_3 + K_2) + 2 \tan \frac{\theta_4}{2}.(K_1.\sin \theta_3) = K_3.(1 + \tan^2 \frac{\theta_4}{2}) \quad (35)$$

$$(K_1.\cos \theta_3 + K_2) - (K_1.\cos \theta_3 + K_2).\tan^2 \frac{\theta_4}{2} \quad (36)$$

$$+ (2.K_1.\sin \theta_3) \tan \frac{\theta_4}{2} = K_3 + K_3.\tan^2 \frac{\theta_4}{2} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} A &= -K_1 \cdot \cos \theta_3 - K_2 - K_3 \\ B &= 2 \cdot K_1 \cdot \sin \theta_3 \\ C &= K_1 \cdot \cos \theta_3 + K_2 - K_3 \end{aligned} \quad (34)$$

$AX^2 + BX + C$ dönüşümü yapılır ve Denklem 36 elde edilir.

$$\tan \frac{\theta_4}{2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (35)$$

$$\theta_4 = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{-(2 \cdot K_1 \cdot \sin \theta_3) \pm \sqrt{(2 \cdot K_1 \cdot \sin \theta_3)^2 - 4 \cdot (-K_1 \cdot \cos \theta_3 - K_2 - K_3) \cdot (K_1 \cdot \cos \theta_3 + K_2 - K_3)}}{2 \cdot (-K_1 \cdot \cos \theta_3 - K_2 - K_3)} \right) \quad (36)$$

Elde edilir.

Kamera alt sistemine bağlı olarak hareket edecek namlu mekanizması alt sistemi tahrik uzvunun değişken θ_2 açısı için 37 numaralı denklem yazılır.

$$\vec{a} + \vec{d} = \vec{s}_{CB} + \vec{e} \quad (37)$$

$$a \cdot e^{i\theta_2} + d = s_{CB} \cdot e^{i\theta_4} + i \cdot e \cdot e^{i\theta_4} \quad (38)$$

$$a \cdot e^{-i\theta_2} + d = s_{CB} \cdot e^{-i\theta_4} - i \cdot e \cdot e^{-i\theta_4} \quad (39)$$

$$a^2 + a \cdot d \cdot [e^{i\theta_2} + e^{-i\theta_2}] + d^2 = s_{CB}^2 + e^2 \quad (40)$$

$$2 \cdot a \cdot d \cdot \cos \theta_2 = s_{CB}^2 + e^2 - a^2 - d^2 \quad (41)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{s_{CB}^2 + e^2 - a^2 - d^2}{2 \cdot a \cdot d} \quad (42)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left(\frac{s_{CB}^2 + e^2 - a^2 - d^2}{2 \cdot a \cdot d} \right) \quad (43)$$

Farklı ağırlık merkezlerinde tasarlanan silah sistemlerinin ihtiyaç duyduğu tork değerlerini belirlemek gerekmektedir. Parametrik modelleme içerisinde, kamera ve ona bağlı olarak hareket edecek namlu mekanizması alt sistemlerini tahrik eden servo motorların seçiminde sistemin açısal hızlarının etkisi bulunmaktadır.

Değişken ω_3 açısal hızı için Denklem 44 yazılır;

$$\vec{k} - \vec{s} = -\vec{r} \quad (44)$$

$$k - s \cdot e^{i\theta_3} = -r \cdot e^{i\theta_1} \quad (45)$$

$$k - s \cdot e^{-i\theta_3} = -r \cdot e^{-i\theta_1} \quad (46)$$

45 ve 46 numaralı denklemlerin türevi alınır.

$$-i \cdot s \cdot e^{i\theta_3} \cdot \omega_3 - \dot{s} \cdot e^{i\theta_3} = -i \cdot r \cdot e^{i\theta_1} \cdot \omega_1 \quad (47)$$

$$i \cdot s \cdot e^{-i\theta_3} \cdot \omega_3 - \dot{s} \cdot e^{-i\theta_3} = -i \cdot r \cdot e^{-i\theta_1} \cdot \omega_1 \quad (48)$$

$$\omega_3 = \frac{\begin{vmatrix} -i \cdot r \cdot \omega_1 \cdot e^{i\theta_1} & -e^{i\theta_3} \\ i \cdot r \cdot \omega_1 \cdot e^{-i\theta_1} & -e^{-i\theta_3} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -i \cdot s \cdot e^{i\theta_3} & -e^{i\theta_3} \\ i \cdot s \cdot e^{-i\theta_3} & -e^{-i\theta_3} \end{vmatrix}} \quad (49)$$

$$\omega_3 = \frac{i \cdot r \cdot \omega_1 \cdot e^{i(\theta_1 - \theta_3)} + i \cdot r \cdot \omega_1 \cdot e^{-i(\theta_1 - \theta_3)}}{2 \cdot i \cdot s} \quad (50)$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_1 \cdot r \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3)}{s} \quad (51)$$

Değişken ω_4 açısal hızının belirlenmesi için 52 numaralı denklem yazılır.

$$\vec{s} - \vec{c} + \vec{d} = \vec{x} + \vec{e} \quad (52)$$

$$s \cdot e^{i\theta_3} - c \cdot e^{i\theta_4} + d = x \cdot e^{i\theta_4} + i \cdot e \cdot e^{i\theta_4} \quad (53)$$

$$s \cdot e^{-i\theta_3} - c \cdot e^{-i\theta_4} + d = x \cdot e^{-i\theta_4} - i \cdot e \cdot e^{-i\theta_4} \quad (54)$$

Denklem 53 ve 54'ün türevleri alınır.

$$(i \cdot x + i \cdot c - e) \cdot e^{i\theta_4} \cdot \omega_4 + \dot{x} \cdot e^{i\theta_4} = \dot{s} \cdot e^{i\theta_3} + i \cdot s \cdot e^{i\theta_3} \cdot \omega_3 \quad (55)$$

$$(-i \cdot x - i \cdot c - e) \cdot e^{-i\theta_4} \cdot \omega_4 + \dot{x} \cdot e^{-i\theta_4} = \dot{s} \cdot e^{-i\theta_3} - i \cdot s \cdot e^{-i\theta_3} \cdot \omega_3 \quad (56)$$

$$\omega_4 = \frac{\begin{vmatrix} \dot{s} \cdot e^{i\theta_3} + i \cdot s \cdot e^{i\theta_3} \cdot \omega_3 & e^{i\theta_4} \\ \dot{s} \cdot e^{-i\theta_3} - i \cdot s \cdot e^{-i\theta_3} \cdot \omega_3 & e^{-i\theta_4} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (i \cdot x + i \cdot c - e) \cdot e^{i\theta_4} & e^{i\theta_4} \\ (-i \cdot x - i \cdot c - e) \cdot e^{-i\theta_4} & e^{-i\theta_4} \end{vmatrix}} \quad (57)$$

$$\omega_4 = \frac{\dot{s} \cdot 2 \cdot i \cdot \sin(\theta_3 - \theta_4) + 2 \cdot i \cdot s \cdot \omega_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_4)}{2 \cdot i \cdot (x + c)} \quad (58)$$

$$\omega_4 = \frac{\dot{s} \cdot \sin(\theta_3 - \theta_4) + s \cdot \omega_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_4)}{x + c} \quad (59)$$

Değişken açısal hızı için Denklem 60 yazılır.

$$\vec{a} + \vec{d} = \vec{s}_{CB} + \vec{e} \quad (60)$$

$$a \cdot e^{i\theta_2} + d = s_{CB} \cdot e^{i\theta_4} + i \cdot e \cdot e^{i\theta_4} \quad (61)$$

$$a \cdot e^{-i\theta_2} + d = s_{CB} \cdot e^{-i\theta_4} - i \cdot e \cdot e^{-i\theta_4} \quad (62)$$

$$i \cdot a \cdot e^{i\theta_2} \cdot \omega_2 - \dot{s}_{CB} \cdot e^{i\theta_4} = i \cdot s_{CB} \cdot e^{i\theta_4} \cdot \omega_4 - e \cdot e^{i\theta_4} \cdot \omega_4 \quad (63)$$

$$-i \cdot a \cdot e^{-i\theta_2} \cdot \omega_2 - \dot{s}_{CB} \cdot e^{-i\theta_4} = -i \cdot s_{CB} \cdot e^{-i\theta_4} \cdot \omega_4 - e \cdot e^{-i\theta_4} \cdot \omega_4 \quad (64)$$

$$\omega_2 = \frac{\begin{vmatrix} i \cdot s_{CB} \cdot e^{i\theta_4} \cdot \omega_4 - e \cdot e^{i\theta_4} \cdot \omega_4 & -e^{i\theta_4} \\ -i \cdot s_{CB} \cdot e^{-i\theta_4} \cdot \omega_4 - e \cdot e^{-i\theta_4} \cdot \omega_4 & -e^{-i\theta_4} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} i \cdot a \cdot e^{i\theta_2} & -e^{i\theta_4} \\ -i \cdot a \cdot e^{-i\theta_2} & -e^{-i\theta_4} \end{vmatrix}} \quad (65)$$

$$\omega_2 = \frac{s_{CB} \cdot \omega_4}{a \cdot \cos(\theta_2 - \theta_4)} \quad (66)$$

$$\omega_2 = \frac{s_{CB} \cdot \dot{s} \cdot \sin(\theta_3 - \theta_4) + \omega_1 \cdot r \cdot \cos(\theta_1 - \theta_3) \cdot \cos(\theta_3 - \theta_4)}{a \cdot (x + c) \cdot \cos(\theta_2 - \theta_4)} \quad (67)$$

Olarak elde edilmiştir. Denklemleri türetilen değişkenler üzerinden nümerik analiz yapılmıştır. Nümerik analiz sonuçları hareket simülasyonu ile karşılaştırılmıştır.

açılmalık yer değıştirmeleri ve ω_2 ve ω_4 açılmalık hızları için değışim grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 2. Lançer mekanizması nümerik analiz değeri

Girdiler ve Sonuçlar											
s	839,57	833,37	821,40	815,51	807,01	769,33	748,55	725,73	701,80	682,28	661,16
c	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50	197,50
e	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
x	699,92	691,64	675,57	667,65	656,18	604,94	576,37	544,66	511,02	483,25	452,79
d	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
r	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
k	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
a	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
S _{cb}	197,48	190,61	181,32	177,20	171,48	147,86	135,58	122,61	109,71	99,87	90,11
θ_1	4,92	19,36	32,62	37,52	43,72	65,18	75	85	95	103	111,70
θ_3	4,10	16,17	27,34	31,52	36,83	55,68	64,59	73,92	83,54	91,47	100,35
θ_2	23,58	39,79	54,79	60,37	67,45	92,03	103,23	114,51	125,54	134,10	143,13
θ_4	0,00	11,24	21,61	25,48	30,40	47,87	56,15	64,86	73,89	81,39	90
Lançer Mekanizması Analitik Hız Analizi											
ω_2	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
ω_4	41,77	41,48	41,54	41,66	41,90	43,67	45,21	47,53	50,89	54,61	59,77

3. ANALİZ VE SİMÜLASYON (ANALYZE AND SIMULATION)

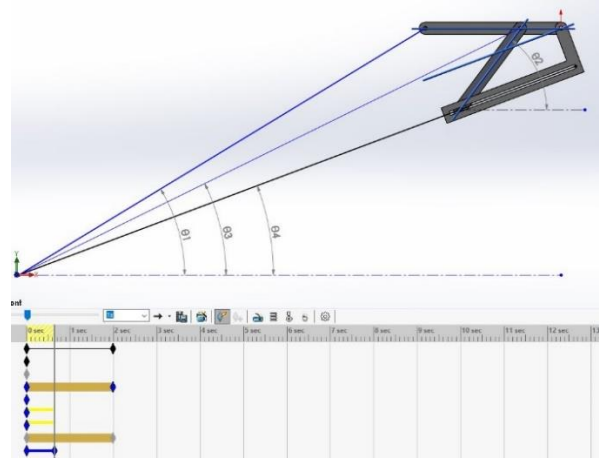
3.1. Nümerik Analiz (Numeric Analyze)

Matematisel modelleme ile elde edilmiş veriler, bilgisayar destekli hesaplama ortamına aktarılmıştır. Tasarım gereksinimlerine uygun olarak, 0-90° arasında ardışık menzillik ve θ_1 açılmalık değeri verilmiş, ω_2 değeri sabit açılmalık hız olarak kabul edilmiştir (60°/s). Çizelge 2’de nümerik analiz değeri gösterilmiştir.

3.2. Hareket Simülasyonu (Motion Simulation)

Konsept tasarımı tamamlanmış silah namlu mekanizması alt sistemi, bilgisayar destekli hareket simülasyonu ortamına aktarılmıştır. Tasarım gereksinimlerine uygun olarak a uzvu, 0-90° arasında ω_2 sabit açılmalık hız ile hareket ettirilmiştir (60°/s). SolidWorks programında ilgili uzva servo motor eklenmiş ve hareket simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 5’te konsept namlu mekanizması alt sistemi hareket simülasyonu gösterilmiştir

Hareket simülasyonu sonucu namlu mekanizması alt sisteminin tahrik uzvu ve sabit namlu uzvularının θ_2 , θ_4

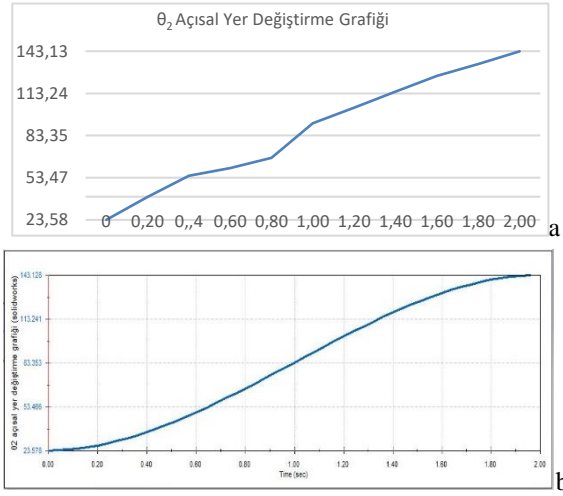


Şekil 5. Konsept namlu mekanizması alt sistemi hareket simülasyonu (Motion simulation of concept barrel mechanism subsystem)

4. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME (DISCUSSION AND EVALUATION)

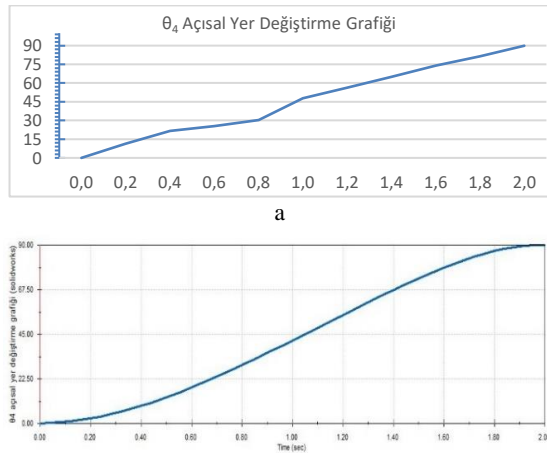
Sayısal ve hareket simülasyonundan elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan grafiklerdeki değeri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6’da namlu

mekanizması alt sistemini tahrik uzvun (a), bilgisayar destekli hesaplama ortamından ve bilgisayar destekli hareket simülasyonundan elde edilen açısız yer değiştirme grafikleri görülmektedir.



şekil 6. θ_2 açısız yer değiştirme grafikleri a.Nümerik analiz b. Hareket simülasyonu (θ_2 angular displacement graphs a.Numerical analysis b. motion simulation)

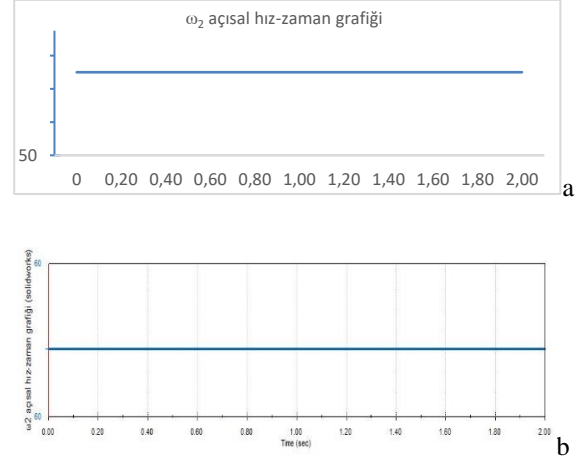
şekil 6 incelendiğinde namlu mekanizması alt sistemini tahrik uzvunun (a) 2 saniyelik hareket boyunca yaklaşık olarak 120° 'lik bir açısız yer değiştirme gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Oluşturulan matematiksel denklemlerden ve hareket simülasyonundan elde edilen değerlerin hareket süresi boyunca birebir tutarlı olduğu görülmektedir. şekil 7'de namlu mekanizması alt sistemi sabit namlu uzvunun bilgisayar destekli hesaplama ortamından ve bilgisayar destekli hareket simülasyonundan elde edilen açısız yer değiştirme grafikleri görülmektedir.



şekil 7. θ_4 açısız yer değiştirme grafikleri a.Nümerik analiz b. Hareket simülasyonu (θ_4 angular displacement graphs a.Numerical analysis b. Motion simulation)

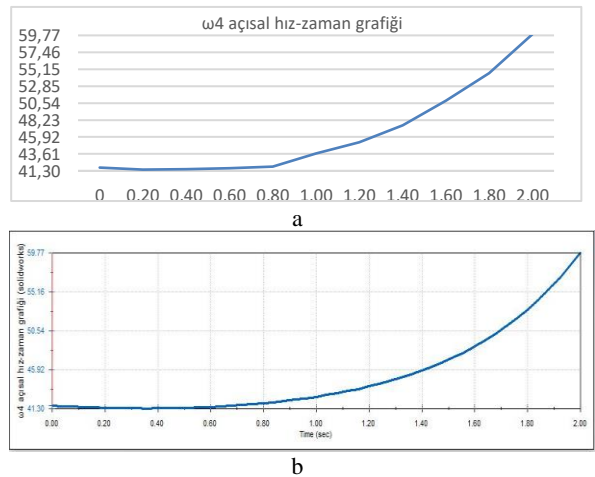
şekil 7 incelendiğinde, namlu mekanizması alt sistemi sabit namlu uzvunun harekete başlamadan önce 0° olarak kabul edilen konumda olduğu ve 2 saniyelik hareket boyunca 90° 'lik bir açısız yer değiştirme gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Oluşturulan matematiksel denklemlerden

ve hareket simülasyonundan elde edilen değerlerin hareket süresi boyunca birebir tutarlı olduğu görülmektedir. Matematiksel modelleme ile elde edilen konum verileri, hareket simülasyonu aracılığı ile doğrulanmıştır. şekil 8 ve şekil 9'da sistemdeki hareketli uzuvların (namlu mekanizması alt sisteminin tahrik uzvu ve namlu mekanizması alt sistemi sabit namlu uzvu) açısız hız değerleri nümerik analiz ortamında ve hareket simülasyonunda karşılaştırılmıştır.



şekil 8. ω_2 açısız hız-zaman grafikleri a.Nümerik analiz b. Hareket simülasyonu (ω_2 angular velocity-time graphs a. Numerical analysis b. Motion simulation)

şekil 8 incelendiğinde, bilgisayar destekli hesaplama ortamından alınan ω_2 sabit açısız hız değeriyle hareket simülasyonundan elde edilen değerin aynı olduğu görülmüş ve kabul edilmiştir. Hesaplamalar 2 saniyelik zaman dilimi aralığı için yapılmıştır. şekil 9'da namlu mekanizması alt sistemi sabit namlu uzvunun (c uzvu) ω_4 açısız hız değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir.



şekil 9. ω_4 açısız hız-zaman grafikleri a.Nümerik analiz b. Hareket simülasyonu (ω_4 angular velocity-time graphs a. Numerical analysis b. Motion simulation)

şekil 9.a bilgisayar destekli hesaplama ortamında hesaplanan ω_4 açısız hız değeri iken, 9.b SolidWorks programı hareket simülasyonundan alınan ω_4 açısız hız değerini göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, her iki grafikte de namlu mekanizması alt sistemi sabit namlu

uzvunun (c uzvu) açısal başlangıç hızının 41,303 %/s olduğu görülmektedir. 2 saniyelik hareket sonucu ise hız değeri her iki grafikte de 59,772 değerine ulaşmıştır. Türetilen denklemlerden elde edilen ω_4 ara değerlerinin ise, hareket simülasyonundan elde edilen ara değerler ile birebir aynı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışma ile birlikte, silahlı mini insansız hava aracına (SİHA) ait, hareket halinde bir hedefi nişan alıp farklı açılarda ateşleme yapabilen bir silah namli mekanizması konsept tasarımı ve karmaşık sayılar yardımı ile matematiksel modellemesi yapılmıştır. Matematiksel modellemeden elde edilen parametrik fonksiyonların, bilgisayar destekli hareket simülasyonu verileri ile tutarlı olduğu görülmüştür. Bilgisayar destekli hareket simülasyonu ile doğrulanmış parametrik silah namli mekanizması ve bu mekanizma ile beraber çalışan lazer mesafe okuyucu kamera sistemi matematiksel modellemesi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Mekanizmanın, farklı malzemelerle, farklı boyutlarda ve farklı ağırlıklarda imal edilmiş versiyonları için gerekli olan servo motor özellikleri açısal hız ve atalet momenti ile hesaplanmaktadır.
- Lazer mesafe okuyucu sensörü ile elde edilen uzaklık verileri ve kamera alt sisteminin hava aracı gövdesine göre olan referans açısı ile birlikte hedefe en uygun namli açısında atış yapılması sağlanmıştır.
- Yeni yapılan tasarım, SİHA'nın negatif ve pozitif atak açıları (araç gövdesinin yatay eksenle yaptığı açı) ile hareket halinde maksimum isabet oranında atış yapmasını mümkün kılmaktadır.
- Hedefin, lazer mesafe okuyucu vasıtasıyla belirlenen uzaklığı ve hava aracının konum değişiminden elde edilen mutlak bağıl hız kullanılarak hareket halindeki hava aracı ile hareket halindeki hedefin yüksek isabet oranında vurulması sağlanmaktadır.
- Namli mekanizmasında meydana gelen montaj boşlukları, sistem çalışmasında bazı konum-zaman gecikmelerine neden olabilmektedir. Elde edilen fonksiyonlara gerekli yazılımsal ötelemeler yapılarak, bu gecikmelerin ortadan kaldırılabileceği belirlenmiştir.

SİMGELER (ICONS)

- A : Namli mekanizması alt sistemini sabit tahrik uzvu
 c : Namli mekanizması alt sistemi sabit namli uzvunu,
 d : Tahrik uzvu mafsali ile namli mekanizması alt sistemi mafsali arasındaki sabit mesafe
 e : Namli mekanizması alt sistemi sabit uzuv
 k : Tahrik uzvu mafsali ile kamera alt sistemi arasındaki sabit mesafe
 r : Lazer mesafe okuyucu sensörünün ölçtüğü değişken uzaklık

- s : Hedef referans noktası ve tahrik uzvu mafsali arasındaki sanal uzuv
 s_{CB} : Namli uzvunun (c) içerisindeki değişken kayar uzuv mesafesi
 x : Namli mekanizması alt sistemi namli uzvu (c) ile hedef referansı arasındaki mesafe
 θ_1 : Kamera alt sisteminin yatay eksen ile yaptığı açı
 θ_2 : Namli mekanizması alt sistemini tahrik uzvunun (a) yatay eksenle yaptığı açı
 θ_3 : Hedef referans noktası ve tahrik uzvu mafsali arasındaki sanal uzvun (s) yatay eksenle yaptığı açı
 θ_4 : Namli uzvunun (c) yatay eksenle yaptığı açı
 ω_1 : Kamera alt sisteminin açısal hızı
 ω_2 : Namli mekanizması alt sistemini tahrik uzvunun (a) açısal hızı
 ω_3 : Hedef referans noktası ve tahrik uzvu mafsali arasındaki sanal uzvun (s) açısal hızı
 ω_4 : Namli uzvunun (c) açısal hızı

KISALTMALAR (ABBREVIATIONS)

- İHA: İnsansız hava aracı
 JSF: Joint Strike Fighter (M)
 SİHA: Silahlı İnsansız hava aracı
 MTOW: Maximum take off weight (Maksimum kalkış ağırlığı)

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Alper Hasan KOCATAŞ: Tasarımı üç boyutlu olarak modellemiş ve matematiksel olarak analizini gerçekleştirmiştir. / Modeled the design in three dimensions and analyzed it mathematically.

Duygu GÜRKAN KOCATAŞ: Tasarımın matematiksel olarak analizini yapmış ve makale yazımını gerçekleştirmiştir. / Analyzed the design mathematically and wrote the manuscript.

İhsan KORKUT: Literatüre göre bulguları değerlendirmiş ve sonuçları belirlemiştir. / Evaluated the findings according to the literature and determined the results.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ak, T. and Avaner, T., "Silahlı insansız hava araçlarının uluslararası alanda ve iç güvenlikte sevk ve idaresine ilişkin hukuki saptamalar." *Savunma Bilimleri Dergisi*, 18(36):43-66, (2019).
- [2] Strategic Defence Intelligence. (2015, Haziran). The Global UAV Market 2015-2025. Strategic Defence Intelligence: www.strategicdefenceintelligence.com/report/df0060sr--the-globaluav-market-2015-2025/. adresinden alınmıştır. Son erişim tarihi: 20.02.2022
- [3] Kabadayı, A. and Uysal, M., "İnsansız Hava Aracı ile Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti", *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1):8-14, (2019).
- [4] Karaağaç, C., "İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050." *STM-Mühendislik Teknolojik Danışmanlık*, (2016).
- [5] Bakır, G. (2019). "İnsansız Hava Araçlarının Savunma Sanayi Harcamasında Yeri ve Önemi." *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6(2): 127-134, (2019).
- [6] Graham, S., "Kuşatılan Şehirler Yeni Askeri Kentçilik", 9786055513726, *Nota Bene Yayınları*, Ankara (2011).
- [7] Guleryuz, M., "Yeni Nesil Yerli Silahlı Drone Songar", *Gündeme Bakış*, 13:16, (2019).
- [8] Ojha, S. and Sakhare S., "Image processing techniques for object tracking in video surveillance- A survey", *International Conference on Pervasive Computing (ICPC)*, 1-6, 2015, doi: 10.1109/PERVASIVE.2015.7087180.
- [9] Wixson L., Eledath J., Hansen, M., Mandelbaum, R. and Mishra, D., "Image alignment for precise camera fixation and aim", *Proceedings. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 594-600, 1998, doi: 10.1109/CVPR.1998.698666.
- [10] Maddalena, L., Petrosino, A. and Ferone, A., "Object motion detection and tracking by an artificial intelligence approach" *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 22(05):915-928, (2008).
- [11] Ekmen, M. İ. And Aydoğdu, Ö., "İnsansız Hava Araçları İçin Görüntü İşleme Tabanlı Otonom İniş", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 297-303, (2020).
- [12] Yayla, M., Ergin, Ü., Mutlu, T. and Kurtulus, D. F., "Bir Muharip İnsansız Uçak Sistemi için Performans Gereksinimlerinin Belirlenmesi", HİTEK-2014-024, *III. Ulusal Havacılıkta İleri Teknolojiler Konferansı*, HHO, İstanbul, (2014).
- [13] Nişancı, M. H., Teşneli, A. Y. and Teşneli, N. B., "Yıldırım Darbelerinin Silahlı İnsansız Hava Araçları (SİHA) Üzerindeki Dolaylı Etkilerinin Analizi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(3):390-395, (2018).
- [14] Ramesh, P. S. and Jeyan, J. M. L., "Comparative analysis of the impact of operating parameters on military and civil applications of mini unmanned aerial vehicle (UAV)", *AIP Conference Proceedings* 2311:1, p. 030034, 2020.
- [15] Dutta, A.N. and Deol, T., "Nano, micro, small: The different drone types in India & if Jammu-like strike can be averted", *The Print*, (2021).
- [16] Getsov, P., Zabunov, S. and Mardirossian, G., "H-Airframe benefits for constructing quad-rotor unmanned helicopters", *International Journal of Science and Research*, 3(8), (2014).
- [17] Bauman, R. E. and Christenson, J. R., "Spin and fin stabilized rocket", *DC: U.S. Patent and Trademark Office*, U.S. Patent No. 3,610,096, Washington, (1971).
- [18] Hauser, G. R., Hunter, W. H., Hynes, J. F., Keller, D. R., Thurston, J. R. D. and Manda, L. J., "Spin rocket and launcher", *DC: U.S. Patent and Trademark Office*, U.S. Patent No. 3,251,267. Washington, (1966).
- [19] MKE Genel Müdürlüğü Ürün Kataloğu url: <https://urunler.mke.gov.tr/urunlerimiz/> adresinden alınmıştır. Son erişim tarihi: 20.02.2022
- [20] Altmann, J. and Suter, D., Survey of the Status of Small and Very Small Missiles, *TU Dortmund University*, (2022).
- [21] ROKETSAN Ürün Kataloğu <https://www.roketsan.com.tr/tr/urunler/lazer-gudumlu-mini-fuze-sistemi> adresinden alınmıştır. Son erişim tarihi: 20.02.2022.
- [22] Aksu, A., "Aerodynamic parameter estimation of a missile without wind angle measurements" *In AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, Georgia,USA*, 2557, (2014). <https://doi.org/10.2514/6.2014-2557>