

## Üç Dönerkanatlı ve Döner-Rotorlu İnsansız Hava Aracının Tasarımı

### Design of the Triple Tilt-Rotor Unmanned Aerial Vehicle

Alp Kaçar<sup>1</sup>, Barışcan Tok<sup>2</sup>, Ahmet Caner Kahvecioğlu<sup>2</sup>, Onur Albostan<sup>3</sup>, Serkan Köse<sup>3</sup>, Bülent İrfanoğlu<sup>1</sup>, Kutluk Bilge Arıkan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mekatronik Mühendisliği

Atılım Üniversitesi

akacar2@gmail.com, birfanoglu@atilim.edu.tr, kbarikan@atilim.edu.tr

<sup>2</sup>Havacılık ve Uzay Mühendisliği

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

bariscantok@gmail.com, canerkahvecioglu@hotmail.com

<sup>3</sup>Se Savunma

onuralbostan@gmail.com, serkankose@sesavunma.com

#### Özet

*Bu makalede, tüm dönerkanat rotorları eğimlenebilen (tilt mekanizmasına sahip), üç dönerkanatlı, dikey kalkış iniş yapabilen insansız hava aracının tasarım süreci sunulmuştur. Modelleme alt yapısının kurulması, malzeme ve bileşen seçimi, enerji tüketimi, titreşim analizi, statik yük analizi ve fiziksel sistem testleri gibi çalışmalara değinilmiştir. Sürecin sonunda ilk prototip ortaya çıkarılmış ve uçuş testlerine başlanmıştır.*

*Anahtar kelimeler: Üç rotor, Eğimlenebilen rotor, İnsansız Hava Aracı (İHA).*

#### Abstract

*In this paper, design process of an VTOL (Vertical Take Off – Landing) type unmanned aerial vehicle with three tilting rotors is presented. In this framework, modeling environment, energy consumption analysis, material and component selection, vibration analysis, static load analysis, and physical system test studies are discussed. Initial prototype is reached and flight tests are initiated.*

*Keywords: Tri-rotor, Tilt-rotor, Unmanned Aerial Vehicle (UAV).*

#### 1. Giriş

Günümüzde askeri (keşif, gözlem, istihbarat, vb.) ve sivil uygulamalarda (yangın, deprem, sel, vb.) kullanılmak üzere tasarlanmış İnsansız Hava Araçları (İHA), temel olarak içerisinde insan bulunmadan uçabilen ve üstlendikleri görevleri uzaktan yönetilerek ya da özerk olarak yerine getirebilen hava platformları/araçlarıdır. İHAlar boyut, menzil, görev, vb. gibi kriterlere göre sınıflandırıldığı gibi sabit kanatlı ve dönerkanatlı olmak üzere iki farklı sınıfa da ayrılmaktadır. Dönerkanatlı hava

araçları, dikey kalkış iniş (VTOL) yapabilen, havada askıda kalabilen ve sabit kanatlılara kıyasla düşük menzil ve irtifada uçuş yapabilen sistemlerdir. Bu platformlar sahip oldukları rotor sayılarına göre de adlandırılmaktadır [1]. Günümüzde dört dönerkanatlı platformlar (quadrotor) standart yapılar haline gelmiştir. Eyleyici sayısını azaltan ya da çeşitlendiren sistemler de araştırmacıların ilgi alanlarına dâhil olmuştur. Üç dönerkanatlı ve bir dönen rotora sahip hava aracı [2], tandem döner kanatlı ve bir dönen rotora sahip platform [3], hem sabit kanatlı hem de dört rotorlu, rotorlarının tümü bağlı bulunduğu sabit kanatlar ile döner yapıda olan (Tilt-wing) çalışma [4] literatürde rastlanan sıra dışı sistemlere birer örnek olarak sunulabilir. Kaynak [5]'te ise üç döner-rotorlu, tüm rotorları eğimlendirilen sıra dışı bir sistem aktarılmıştır.

Bu makale, 3 Dönerkanatlı Hava Taşıtı -3DöHaT- tasarımı ile ilgili genel yaklaşımı sunmaktadır. Se Savunma ve Atılım Üniversitesi (ATÜ) Mekatronik Mühendisliği Bölümü ile birlikte yürütülen SANTEZ projesine konu olan tasarım üç dönerkanatlı bir sistemdir.

#### 2. Tasarım Süreci

Tasarım süreci, 3DöHaT için sistemin amacının, görevlerinin ve hedeflenen dinamiklerinin tanımlanması ile başlamıştır. Faydalı yük ile birlikte sistemin tahmini toplam ağırlığı hesaplanmıştır. Bu kabullenmeler sırasında proje ekibinin önceki tasarım tecrübeleri, üzerinde çalıştıkları benzer platformlara dair bilgileri, literatür taraması ve kullanılması hedeflenen bileşenlerin ağırlıkları belirleyici olmuştur.

Kavramsal tasarımda, pervane-motor eyleyici birimlerinin üretmesi beklenen maksimum itki kuvvetinin yaklaşık %70'inin tahmini toplam ağırlığı karşılaması beklenmektedir. Geriye ka-

lan miktar, denetim amaçlı saklanmaktadır. Bu ilke ile bir pervaneden beklenen maksimum itki kuvvetine ulaşılabilir. Uygun motor-pervane birimlerinin seçimi, sistemin boyutları, pervanenin dönüş hızı, ihtiyaç duyulan güç gibi detayları ve ilgili hesaplamaları gerekli kılmaktadır. Hedeflenen uçuş süresi ve seçilen motor-pervane eyleyici biriminin özellikleri ile sistem üzerinde yer alması gereken pil paketinin özellikleri ve ağırlığı ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada tasarımın başında yapılan kabullenmelerin geçerliliklerinin sınanması, gerektiğinde ilk aşamaya geri dönüp kabullenmelerin güncellenmesi ve hesaplamaların tekrarı zorunlu olmaktadır. 3DöHaT için hedeflenen uçuş süresi yaklaşık 20 dakikadır. Rotorlar arasındaki mesafe ise 0.8 m.dir. Sistemin toplam ağırlığı faydalı yük ile birlikte 2 kg.dir. Bu projede pervane tasarımı ve üretimi hedeflenmemektedir. Piyasadaki mevcut pervane, motor ve motor sürücüler arasından seçim yapılmıştır.

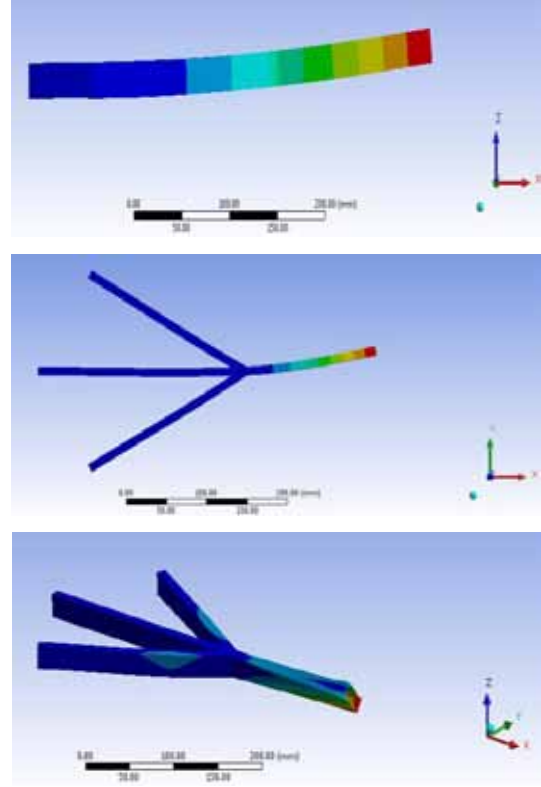
Tasarım sürecinin sağlıklı ilerlemesi, belirsizliklerin azaltılması ve bu proje ekseninde kalıcı bir birikim oluşması kaygılarıyla üzerinde tasarımın şekilleneceği, analizlerin yapılacağı modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar, sistemin katı modeli, sonlu elemanlar modeli ve dinamik matematiksel modelidir. Katı model üzerinde geometrik tasarım şekillenmiş, sistemin ataletsel özellikleri ile ilgili temel parametrelerin yaklaşık değerleri elde edilmiş ve titreşim ve yapısal mukavemet analizleri sonlu elemanlar modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılacak yapısal elemanlara modeller üzerinde gerçekleştirilecek analizler yardımı ile karar verilmiştir. Sistem tasarımında titreşim, dikkat edilmesi gereken hususların başında gelmektedir. Pervanelerin dönüşünden kaynaklı titreşim, yapısal sorunlar oluşturmasının yanında sistem üzerinde yer alacak duyuçuların sağlıklı çalışmasına engel olan bozucu bir unsurdur. Yapısal elemanların seçiminde ve sistemin yapısal tasarımında titreşim analizleri belirleyici rol oynamaktadır [6]. Platformun askı durumu düşünüldüğünde, motorların muhtemel dönüş hızları hesaplanmakta ve titreşim analizinde elde edilen yapısal doğal frekanslar ile karşılaştırılmaktadır. Bu analizler neticesinde gerekli hallerde yapısal tasarımda değişiklikler yapılmaktadır. Şekil 1'de sistem şasesinin üç eşit parçasından birini göstermektedir. Bu parça sistemin bir rotoru ile ağırlık merkezi arasındaki profil ve iki güçlendirici profilin yarısından oluşmaktadır. Şekil 2'de de bu kirişin titreşim analizleri neticesinde ilk üç moduna ait sonuçlar verilmiştir.



Şekil 1: Kirişin izometrik görünüşü

Tasarım sürecinde kurulan, katı model, sonlu elemanlar modeli ve dinamik matematiksel model arasında sürekli bir veri alış veriş söz konusudur. Sistemin dinamik cevabına ağırlık, ataletsel momentler ve ağırlık merkezinin konumu gibi parametreler etki etmektedir. Tasarımda yapılan değişiklikler modellerin sürekli güncellenmelerine sebep olmaktadır. Analizler, benze-

timler ve animasyonlar ile tasarım süreci desteklenmektedir. İlerleyen aşamalarda gerçek sistemden alınan deneysel veri ile sistem tanılama çalışmalarının yapılması ve modellerin güncellenmesi hedeflenmiştir.



Şekil 2: Kiriş yapının 1., 2. ve 3. modları

Yapısal malzeme seçiminde de çeşitli seçenekler mevcuttur. Plastik ürünler olan Ultem® ve Delrin® hafif malzemeler olmakla birlikte esneklik anlamında istenen özellikte değildir ve dayanımları da diğer malzemelere göre düşüktür. Alüminyum ve karbon elyaf kompozit karşılaştırıldığında ise karbon elyaf özelliklerinin daha üstün olduğu görülmüş ve hava aracının temel malzemesi olarak düşünülmüştür. Titreşim analizleri de esas alınarak dikdörtgen profiller üzerinde durulmuştur.

İtki birimlerinde fırçasız dc motorların kullanılması tercih edilmiştir. Bu eyleyicilerin sürücüler genellikle elektronik hız denetimcileri (ESC) olarak bilinmektedir. Hedeflenen bant genişliğine ve denetim performansına ulaşabilmek adına denetim yazılımının yaklaşık 300-400 Hz ile koşturulması gerekmektedir. Piyasadaki mevcut ESCler içerisinde bu hızları destekleyenler olduğu gibi bu tip uygulamalara daha uygun, I<sup>2</sup>C üzerinden haberleşen sürücüler de bulunmaktadır.

3DöHaT'ın en kritik alt birimlerinden biri de rotorları döndürme mekanizmasıdır. Bu mekanizmada yer alan eyleyici de yüksek güncelleme hızları ile sürülebilir, hızlı tepki veren motorlardan seçilmiştir. Tasarlanan mekanizma Şekil 3'te verilmiştir. Mekanizma tasarımında pervanelerin üreteceği dinamik kuvvetler de hesaba katılarak, mekanizmayı tahrik edecek servo motorun üretmesi gereken torkları hesaplanmış ve neticesinde motor seçimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3: Rotor döndürme mekanizması

Yukarıda genel hatlarıyla aktarılan süreç içerisinde ortaya çıkan tasarımlardan biri Şekil 4 sunulmaktadır. Bu tasarımın geliştirilmesi ile oluşan ilk prototip Şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 4: İnsansız hava aracının katı modeli



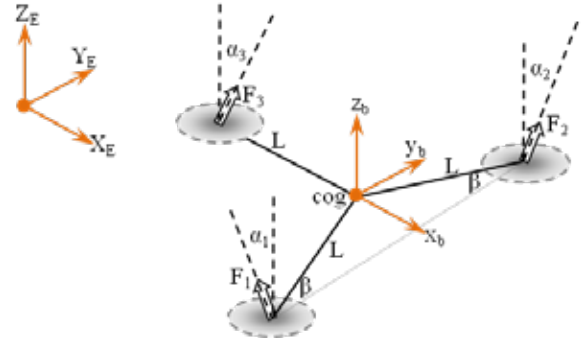
Şekil 5: 3DöHaT

### 3. Matematiksel Model, Denetim ve Benzetimler

Matematiksel modelin tasarım, analiz ve kestirim konusunda öneme sahip olduğu bilinmektedir. Sistemin dinamik performansı, manevra kabiliyeti gibi temel özellikleri bu model üzerinde tasarlanmakta ve sınanmaktadır. Bu amaçlara yönelik, nominal parametre kümesi kullanarak doğrusal olmayan durum uzayı modeli kurulmuş ve üzerinde denetimci tasarımı başlanmıştır. Doğrusal denetimci yapılarından, doğrusal olmayanlara, adaptif ve dayanıklı olanlara dek pek çok denetimci ve kestirimci model üzerinde sınanmaktadır. Denetimci tasarımı konusunda öncelikli olarak aşağıdaki yaklaşım izlenmektedir:

- Yönelim dinamiğinin kararlı hale getirilmesi
- Yönelim ve yükseklik denetiminin sağlanması
- Basit bir yörünge üzerinde hareketin kontrollü bir biçimde gerçekleştirilmesi

Bu hedefler doğrultusunda, sistem ve denetimci tasarımında sistemin eksik-tahrikli (underactuated) ya da tüm-tahrikli (fully-actuated) olması, manevra kabiliyeti, pil durumuna göre denetimcinin adaptif olabilmesi gibi hususlar önem kazanmaktadır.



Şekil 6: Trirotor Şematiği

3DöHaT'ın hareket denklemleri Euler-Lagrange yaklaşımı ile elde edilmiştir [7, 8]. Sistemin detaylı dinamik modeline proke kapsamında tamamlanmış olan yüksek lisans tez çalışmamızda yer verilmiştir [9]. 3DöHaT'ın yönelimini ifade eden Euler açıları ( $\phi, \theta, \psi$ )'nin zamana göre ikinci türevleri aşağıda verilmiştir.

$$\ddot{\phi} = \dot{\theta}\dot{\psi}(I_{ZZ} - I_{XX})/I_{YY} + M_x/I_{YY}$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\psi}\dot{\phi}(I_{YY} - I_{ZZ})/I_{XX} + M_y/I_{XX}$$

$$\ddot{\psi} = \dot{\phi}\dot{\theta}(I_{XX} - I_{YY})/I_{ZZ} + M_z/I_{ZZ}$$

$M_x, M_y,$  ve  $M_z$  sisteme etki eden net momentin gövde x, y ve z eksenleri etrafındaki bileşenlerini temsil etmektedir.

$$M_x = [f_2 \cos(\alpha_2) - f_1 \cos(\alpha_1)]L \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) + [\tau_2 \sin(\alpha_2) - \tau_1 \sin(\alpha_1)] \sin\left(\frac{\pi}{3}\right)$$

$$M_y = [f_1 \cos(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_2)]L \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) - f_3 \cos(\alpha_3)L - \left[ \tau_1 \sin(\alpha_1) \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) - \tau_2 \sin(\alpha_2) \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) + \tau_3 \sin(\alpha_3) \right]$$

$$M_z = -[\tau_1 \cos(\alpha_1) + \tau_2 \cos(\alpha_2) + \tau_3 \cos(\alpha_3)] + [f_1 \sin(\alpha_1) + f_2 \sin(\alpha_2) + f_3 \sin(\alpha_3)]L$$

$f_i, i=1,2,3$ : itki birimlerinin oluşturduğu kuvveti,  
 $\alpha_i, i=1,2,3$ : rotor eksenlerinin eğilendirme açılarını,  
 $\tau_i, i=1,2,3$ : pervane yüzeyinde oluşan sürtünme momentini,  
 $L$ : rotorların, hava aracının ağırlık merkezine olan uzaklığını,  
 $I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}$ : gövde eksen takımı etrafındaki ataletsel momentleri,  
 $m$ : sistemin kütesini,  
 $g$ : yer çekimi ivmesini ifade etmektedir.

Sistemin ağırlık merkezinin doğrusal ivmesinin dünya eksen takımına göre bileşenleri aşağıda verilmiştir.

$$\ddot{x}_e = F_{x_E} / m$$

$$\ddot{y}_e = F_{y_E} / m$$

$$\ddot{z}_e = F_{z_E} / m$$

Yukarıda yer alan  $[F_{x_E}, F_{y_E}, F_{z_E}]^T$ , sistemin üzerine etki eden net kuvvetin dünya referans sistemi üzerindeki bileşenlerini ifade etmektedir. Bu kuvvetin gövde eksen takımı üzerinde yer alan bileşenleri aşağıda verilmiştir.

$$F_{x_b} = f_1 \sin(\alpha_1) \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) - f_2 \sin(\alpha_2) \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) + mg \sin(\theta)$$

$$F_{y_b} = f_1 \sin(\alpha_1) \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) + f_2 \sin(\alpha_2) \cos\left(\frac{\pi}{3}\right) - f_3 \sin(\alpha_3) - mg \cos(\theta) \sin(\phi)$$

$$F_{z_b} = f_1 \cos(\alpha_1) + f_2 \cos(\alpha_2) + f_3 \cos(\alpha_3) - mg \cos(\phi) \cos(\theta)$$

Gövde eksen takımı üzerindeki bileşenler ile dünya eksen takımı üzerindeki bileşenler arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur.

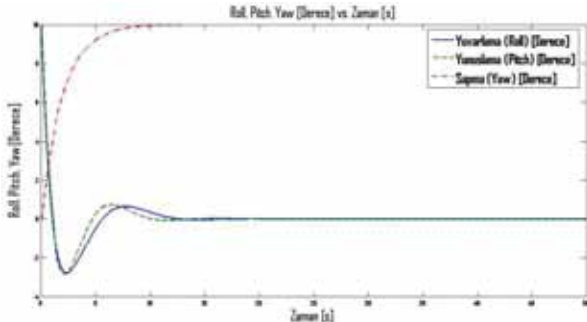
$$[F_{x_E}, F_{y_E}, F_{z_E}]^T = R^{-1} [F_{x_b}, F_{y_b}, F_{z_b}]^T$$

Dünyaya sabit eksen takımı  $(X_E, Y_E, Z_E)$ 'den gövde eksen takımı  $(x_b, y_b, z_b)$ 'ye transformasyonu sağlayan matris aşağıda sunulmuştur.

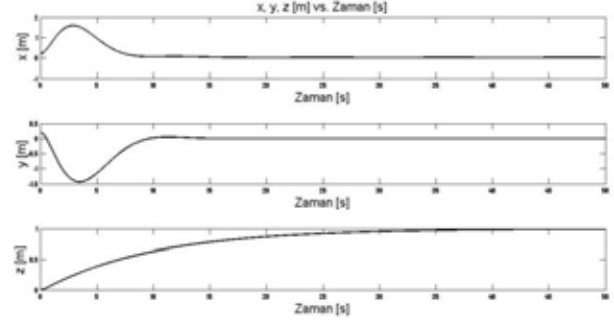
$$R = \begin{bmatrix} -c\theta c\psi & c\psi s\theta s\phi & s\phi s\psi + c\phi c\psi s\theta \\ c\theta s\psi & c\phi c\psi + s\theta s\phi s\psi & c\phi s\theta s\psi - c\psi s\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi \end{bmatrix}$$

$c(.)$  ve  $s(.)$  ifadeleri, *cosinus* ve *sinus* trigonometrik fonksiyonlarının kısaltmalarıdır.

Matematiksel model üzerinde uygulanan farklı denetim algoritmaları mevcuttur. Aşağıda benzetimleri sunulan denetimci, matematiksel model üzerinde tasarlanan ve sınanan tipik yapıardan bir tanesidir. İrtifa ve sapma dinamikleri için PD kontrolcüler tasarlanmış, yalpa ve yunuslama dinamikleri için de iç içe satürasyon denetimci yapısı kullanılmıştır [10, 11]. Bu sırada 3 DöHaT'in  $(X_E, Y_E)$  düzlemindeki konumu da regüle edilmiş, sistem askı konumunda tutulmuştur. Denetimcinin benzetimler ile performansı Şekil 7 ve 8'de gösterilmektedir. Şekil 7'de Yunuslama (Roll), Yunuslama (Pitch) ve Sapma (Yaw) Euler açıları verilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan, adaptif ve dayanıklı farklı denetim algoritmaları tasarlanıp sistem üzerinde gerçek zamanlı uygulanmaktadır.

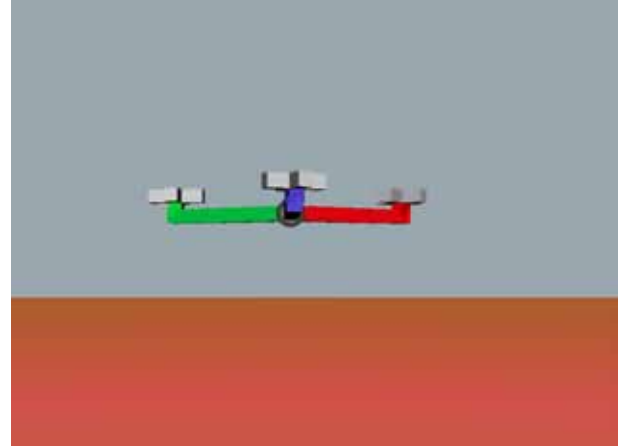


Şekil 7: Euler açılarının zamanla değişimi



Şekil 8: Pozisyonun zamanla değişimi

Benzetimleri desteklemek ve sistem davranışını görsel olarak da sunabilmek adına sistem benzetimi animasyon olarak da gerçekleştirilmiştir, Şekil 9.



Şekil 9: 3DöHaT animasyonundan görüntü

#### 4. Fiziksel Sistem ve Testler

Fiziksel sistem üretilirken öncelikle karbonfiber çubukların kaplıları 'L' şeklinde ikişer adet olmak üzere yapılmış ve balsa malzeme üzerine karbonfiber kumaşlar, reçine ve epoksi ile sarılmıştır. Vakumlanarak fırınlanan karbonfiber elemanların kür prosesinden geçmesi sağlanmıştır. Bağlantı parçaları hızlı prototipleme cihazı ile üretilmiştir. Mekanizma elemanlarının bir kısmı CNC tezgâhta ve bazı bölümleri de hızlı prototipleme cihazında üretilmiştir. Sistem üzerinde Scorpion HK4015 Fırçasız DC Motor, MKS DS95 Servo Motor, Microstrain 3DM-GX3-25 Ataletsel Seyrüsefer Sistemi, Matbotix LV-EZ0 Ultrasonik Mesafe Algılayıcı, Pololu Maestro Servo Sürücü ve Turnigy Superbrain 40 ESC (Fırçasız Motor Sürücü) bulunmaktadır. Platform üzerinde bulunan eyleyici ve algılayıcılar kablolar ile güç kaynağına ve denetim bilgisayarına bağlı bulunmaktadır. Şekil 10'da görüldüğü gibi kablolar tek bir noktadan çıkartılarak bozucu etkiler azaltılmıştır.

11 x 5.5 pervane kullanılan sistemde her bir motor-pervane birimi deniz seviyesinde maksimum 14.50 N kuvvete ve her servo motor  $\pm 45$  derece hareket kabiliyetine sahiptir. Motor-pervane birimlerinin kaldırma kuvveti, kaldırma kuvveti test düzeneğinde ölçülmüştür. Kaldırma kuvveti ölçüm düzeneği Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 10: Fiziksel Sistem



Şekil 11: Kaldırma Kuvveti Ölçüm Test Düzenegi

Yönelim dinamiğini kararlı hale getiren denetim yapısı, sistem ağırlık merkezinden küresel bir mafsala bağlı iken gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Yönelim ve yüksek denetimi ise ağırlarla çevrili güvenli test alanında sınanmaktadır. Sistemin uçuş görüntüleri aşağıda Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12: Sistem Uçuş Görüntüleri

## 5. Değerlendirme

Bu bildiriye, 3DöHaT’in tasarım yaklaşımı ana hatlarıyla sunulmuştur. Modelleme alt yapısına kısaca değinilmiş ve önemine vurgu yapılmıştır. Yapısal tasarımda titreşim eksenli sorunları bertaraf edebilmek adına yapılan analizler ve çalışmalar kısaca aktarılmıştır. 3DöHaT tasarım süreci tamamlanmış, denetimci tasarımları ve fiziksel sistem üzerindeki uygulamaları devam etmektedir. Farklı eyleyici yapısı sebebiyle kendine has bir dinamiğe sahip bu platformun ilerleyen süreçte, dış ortam uçuşları, manevra kabiliyeti, yörünge ve hedef takibi gibi alanlarda geliştirilmesi hedeflenmektedir. Tek servo motorun aktif diğer ikisinin kapalı olduğu durumların irdelenmesi, eksik-tahrikli sistem yapısındaki denetim ve manevra kabiliyeti yine ilerleyen dönemlerde hedeflenen çalışma konuları arasındadır.

## 6. Teşekkürler

Bu makaleye konu olan sistem; Atılım Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü ile Se Savunma Sanayi Havacılık Elektrik Elektronik Mühendislik İmalat Sanayi Ticaret Limited Şirketi tarafından yürütülen 001134.STZ.2011-2 kodlu “Üç Dönerkanatlı Özerk Hava Taşıtı (3DÖHAT)” Konulu SAN-TEZ projesi kapsamında Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenmektedir. Bakanlığımıza desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

## 7. Kaynaklar

- [1] Yıldız, M., Kaçar A., Arıkan, K. B., (2010), “Döner-rotor Mekanizmasına Sahip, İki Rotorlu Sıradışı Uçan Robot Tasarımı, Modellenmesi ve Yönelim Denetimi”, 1. Mekatronik Mühendisliği Öğrenci Kongresi (MeMÖK), 16 Haziran-Atılım Üniversitesi.
- [2] Ryś A., Czyba R., Szafranski, (2011), “Practical Aspects of Trirotor MAV Development”, Proceedings of the International Micro Air Vehicles Conference Summer Edition.
- [3] Arıkan, K. B., İrfanoğlu, B., Kaçar A., Yıldız, M., (2011), “Attitude Stabilization of a Novel Flying Robot by Dynamic Compensation”, 6. Ankara International Aerospace Conference, 14-16 September - METU, Turkey.
- [4] Çetinsoy E., Sırımoğlu E., Önder T. Ö., Hançer C., Ünel M., Akşit M. F., Kandemir İ., Gülez K., (2011), “Design and Development of a Tilt-wing UAV”, Turk. J. Elec. Eng. & Comp. Sci, Vol.19, No.5.
- [5] Escareño J., Sanchez A., Garcia O., Lozano R., (2008), “Triple Tilting Rotor mini-UAV: Modeling and Embedded Control of the Attitude”, American Control Conference, 11-13 June, Seattle, Washington.
- [6] Nice B. E., (2004) “Design of a Four Rotor Hovering Vehicle”, Yüksek Lisans Tezi, Cornell University.
- [7] Fantoni, I., Lozano R., (2002), “Nonlinear control for underactuated mechanical systems” Springer, Communications and Control Engineering Series.
- [8] Salazar-Cruz S., Escareño, J., Lara, D., Lozano, R., (2007) “Embedded control system for a four-rotor UAV” International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 21(2–3), 189–204.
- [9] Kaçar, A., (2013), “Attitude and Altitude Control of a Triple Tilt-Rotor Unmanned Aerial Vehicle”, Yüksek Lisans Tezi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Atılım Üniversitesi.
- [10] Salazar-Cruz S., Escareño, J., Lozano, R., (2009) “Stabilization and nonlinear control for a novel trirotor mini-aircraft”, Control Engineering Practice, vol. 17 num.: 8 pp. 886-894.
- [11] Bouabdallah S., (2006) “Design and control of quadrotors with application to autonomous flying”, Ph.D. dissertation, EPFL, Switzerland.



### **Alp Kaçar**

2010 yılında Atılım Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olup, aynı bölümden yüksek lisans derecesini 2013 yılında almıştır. Yüksek lisans tezi kapsamında Se Savunma ve Atılım Üniversitesi ortaklığı San-Tez projesi olan 3 Dönerkanatlı Özerk Hava Taşıtı (3DöHAT) projesini tamamlamıştır. İş hayatında Se Savunma'da Mekatronik Mühendisi olarak, ardından FİGES'te MATLAB Uygulama ve Proje Mühendisi olarak çalıştıktan sonra halen FİGES'te Mekatronik ve Sistem Modelleme ekibinde Mekatronik Yüksek Mühendisi olarak çalışmaktadır. Ayrıca akademik hayatını TOBB ETÜ Makine Mühendisliği Bölümü'nde doktora yaparak sürdürmekte olan Kaçar, İnsansız Hava Araçları, Mekatronik, Robotik ve Kontrol Sistemleri üzerine çalışmalarını devam ettirmektedir.



### **Barışcan Tok**

Atılım Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu ve öğrenim hayatına ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nde devam etmeye başladı. Aynı yıl ilk olarak Se Savunma firmasında başladığı kariyerini, 2012'de FİGES, 2013'ten bu yana da Aselsan'da mekanik tasarım ve imalat konuları üzerine tasarım mühendisi konumunda çalışarak sürdürmekte.



### **Ahmet Caner Kahvecioğlu**

1988'de Ankara'da doğdu. 2011'de Ortadoğu Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Hala bu bölümde insansız hava araçları tasarımı ve optimizasyon yöntemleri konularında yüksek lisans çalışmalarına devam etmektedir.



### **Onur Albostan**

Onur Albostan, 2008 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Kontrol Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. 2011 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimini tamamlamıştır. 2012 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü'nde doktora öğrenimine başlamış ve halen devam etmektedir. Profesyonel kariyerinde, 2012-2013 yılları arasında Se Savunma ve Havacılık isimli özel bir şirkette rotorlu insansız hava araçları üzerine çalışmıştır. Daha sonra 2013 yılı içerisinde TUSAŞ' da uçuş kontrolü alanında çalışmaya başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir. İlgi duyduğu başlıca araştırma alanları arasında nonlineer kontrol, robot kontrolü, uçuş kontrol ve adaptif kontrol yer almaktadır.



### **Serkan Köse**

1977 yılında Erzurum’da doğan Serkan Köse, ilk orta ve lise öğrenimini TED Ankara Koleji Özel Lisesi’nde tamamladıktan sonra, Bilkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği’nden mezun olmuştur. 2002 yılından itibaren kurucusu olduğu Se Savunma ve Havacılık firması ile insansız sistemler, robotik ve kontrol sistemleri konusunda çalışmalar yapmaktadır. 3 Dönerkanatlı Özerk Hava Taşıtı “3DÖHAT”, firmanın Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü ortaklığı ile gerçekleştirdikleri Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı SAN-TEZ programı kapsamındaki çalışmasıdır.



### **Bülent İrfanoğlu**

1966 yılında Ankara’da doğdu. Lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makina Mühendisliği Bölümü’nde 1989’da tamamlayarak, yüksek lisans derecesini ODTÜ Mühendislik Bilimleri Bölümü’nde 1994’te ve doktora derecesini ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü’nde 2004 yılında aldı. 1989-90 yıllarında ODTÜ Bilgi İşlem Merkezi’nde programcı ve bilgisayar destekli teknik çizim ve tasarım eğitmeni olarak, 1990 yılında Bilkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde bilgisayar destekli teknik çizim ve tasarım konusunda öğretim elemanı olarak, 1991-94 yıllarında ODTÜ Mühendislik Bilimleri Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak, 1994-1998 yıllarında Arizona Üniversitesi Havacılık ve Makina Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2005 yılından itibaren Atılım Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü’nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Mekatronik, robotik, algılayıcılar-eyleyiciler, enstrümantasyon ve kontrol başlıca araştırma ve eğitim konuları arasındadır.



### **Kutluk Bilge Arıkan**

1974 yılında Ankara’da doğdu. B.Sc., M.Sc., and Ph.D. derecelerini Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Makina Mühendisliği Bölümü’nden, sırasıyla 1997, 2000 ve 2008 senelerinde aldı. 1997–2003 arasında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2003 yılında Atılım Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2008 senesinden beri aynı bölümde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Araştırma konuları arasında, insanlı/insansız taşıtlar, bilişsel robotik ve rehabilitasyon robotiği yer almaktadır. Yürütücü veya araştırmacı olarak yer aldığı projeler kapsamında, uçan robotların tasarımı, denetimi, araç dinamiğinin modellenmesi ve tanılanması, hibrit elektrikli taşıtların denetimi, biyoesinlenmiş denetim ile yürüten robotlar gibi konular yer almaktadır. Taşıt dinamiği, insansız su altı araçlarının modellenmesi ve denetimi, cerrahi robotlar gibi konularda danışmanlık hizmeti vererek sanayi projelerine katkıda bulunmaktadır.