

İnsansız Hava Araçları için Manyetik Rezonans Kuplaj ile Şarj İstasyonu Tasarımı

Magnetic Resonance Coupling Charging Station Design for Unmanned Aerial Vehicles

Yılmaz Parmaksız
Akdeniz Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Antalya, Türkiye
yilmazparmaksiz0707@gmail.com

Kayhan Ateş
Akdeniz Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Antalya, Türkiye
kayhanates@akdeniz.edu.tr

Şükrü Özen
Akdeniz Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Antalya, Türkiye
sukruozen@akdeniz.edu.tr

Sinan Kaya
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Ankara, Türkiye
sinan.kaya@tai.com.tr

Özetçe—İnsansız Hava Araçları (İHA) çeşitli alanlarda kullanılabilen elektronik sistemlerdir. Gerçekleştirilen bu çalışmada, İHA’da kullanılan lityum bataryalar için manyetik rezonans kuplaj yöntemi kullanılarak bir şarj istasyonu tasarlanmıştır. Devre tasarımlarının analizleri, Matlab ve PSpice programları sayesinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca; şarj cihazında kullanılan bobinler, ANSYS Maxwell programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan şarj istasyonu ile 12 cm’den 3W gücündeki lityum bataryalar şarj edilmiştir. Tasarlanan sistem ile İHA’nın bataryası şarj olurken bile uçuşuna imkân sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler — insansız hava aracı (İHA), lityum batarya, manyetik rezonanslı kuplaj, kablosuz güç transferi.

Abstract—Unmanned aerial vehicles (UAVs) are electronic systems that can be used in various fields. In this study, a charging station was designed using magnetic resonance coupling method for lithium batteries used in UAV. Analysis of circuit designs was carried out thanks to Matlab and PSpice programs. In addition, the coils used in the charger are designed using the ANSYS Maxwell program. Lithium batteries with power from 12 cm to 3W are charged with the designed charging station. The designed system allows the UAV to fly even when its battery is charging.

Keywords — unmanned aerial vehicle (UAV), lithium battery, magnetic resonance coupling, wireless power transfer.

I. GİRİŞ

Teknolojik ürünlerin gelişmesiyle birlikte elektronik ürün çeşitliliğinde artış meydana gelmiş ve farklı uygulamalar ortaya çıkmıştır. İnsansız hava araçları (İHA) da son yıllarda havacılık sektöründe önemli bir yere sahiptir. İHA, uzaktan kontrollü veya yakından kumanda kontrollü elektronik hava araçlarıdır. İHA’lar; ticarette, hobi uygulamalarında, savunma sanayisinde ve tarımda başta olmak üzere birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır [1]. Kullanım alanlarına göre de ürün

çeşitliliğine sahiptir. Bu çeşitlilik, İHA’ların kullanımı ve özellikleriyle ilgili gelişmelere de sebep olmaktadır. Bu çalışmalarla ilgili olarak gelişmelerden biri de batarya sistemleri ile ilgilidir.

II. PROBLEMİN TANIMI

İHA batarya sistemlerinde lityum bataryalar kullanılmaktadır. Lityum bataryalar, enerji verimlerinin yüksek olması ve uzun yıllar kullanılabilir olması gibi birçok avantaja sahiptir [2]. Ancak İHA’da kullanılan bataryalar genellikle 5-45 dakika arasında hizmet vermektedir. Bu yüzden uçuş süresinin kısıtlılığı sebebiyle bir bölgenin incelenmesi sırasında sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunların çözümü için yedek bataryalar veya şarj işlemini gerçekleştirmek için çeşitli bağlantı kabloları kullanılmaktadır. Şarj işleminin gerçekleştirilmesi için kullanılan bu araçlar çevre, enerji, maliyet anlamında olumsuz yönde etki etmektedir.

III. GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ

İHA’ların batarya sistemlerindeki bu sorunla ilgili literatür taraması sonucunda farklı elektronik cihazlarda da bu sorunların gerçekleştiği ve bu sorunların çözümü için çeşitli yöntemlerin kullanıldığı gözlenmiştir. Farklı elektronik cihazların şarj işlemi için de kablosuz güç transferi yöntemi kullanılarak sorunun çözülebileceği sonucuna varılmıştır.

A. Literatür Taraması

Elektronik ürünlerin kullanımındaki artış sonucunda şarj işlemleri için farklı yöntemler ele alınmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerden bir tanesi de kablosuz güç transferidir. Kablosuz güç transferi, Nikola Tesla ile başlamış olup günümüzde de ilgiyle çalışılan bir konu haline gelmiştir. Kablosuz güç transferinde kullanım alanlarına göre farklı yöntemler ele alınmaktadır. Kullanılan bu yöntemlerden bazıları endüktif

kuplaj, manyetik rezonanslı kuplaj, kapasitif kuplaj ve mikrodalga yöntemidir ve Tablo I'de sunulmuştur [3]. Bu yöntemler farklı frekans bantlarında ve kullanım alanlarına göre incelenmektedir.

Günlük hayatta da kablosuz güç transferi ile şarj işlemi, çeşitli elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Cep telefonları için kablosuz şarj cihazları, elektrikli diş fırçaları, indüksiyon ocakları, son yıllarda kullanımında artış meydana gelen elektrikli araçlar için kablosuz şarj istasyonları örnek olarak verilebilir.

TABLO I. KABLOSUZ GÜÇ TRANSFERİ YÖNTEMLERİ İLE BU YÖNTEMLERİN ÖZELLİKLERİ

Teknoloji	Frekans	Mesafe	Rezonans Yapısı
Endüktif Kuplaj	Hz-MHz	Kısa	Tel Bobinler
Rezonans Endüktif Kuplaj	kHz-GHz	Orta	Ayarlı tel bobinler, toplu eleman rezonatörleri
Kapasitif Kuplaj	kHz-MHz	Kısa	Taşınabilir aygıtları şarj etme
Mikrodalga	GHz	Uzun	Drone uçakları, uydu

B. Yöntem

Son yıllarda elektrikli araçlar için kablosuz güç transferi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmalar orta mesafelerde kullanılan ve endüktif kuplaja göre daha uzak mesafelerde yüksek verimle çalışabilen manyetik rezonanslı kuplaj üzerinedir [4]. Manyetik rezonanslı kuplaj yöntemi ile İHA üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir [5].

Manyetik rezonanslı kuplaj yöntemi detaylı olarak ele alınmış ve bu teknikle alakalı literatür taraması yapılmış ve örnek tasarımlar incelenmiştir [6]. Geçmiş yıllarda havacılık

sektöründe kablosuz şarj işlemi mikrodalga yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Mikrodalga yöntemi ile ilgili gerçekleştirilen en önemli çalışma da bir uçak sadece mikrodalga enerjisi ile 21 km yükseklikte 2 km'lik bir daire içinde 1 aydan uzun süre uçuş gerçekleştirebilmiştir [7].

C. Devre Modellemesi

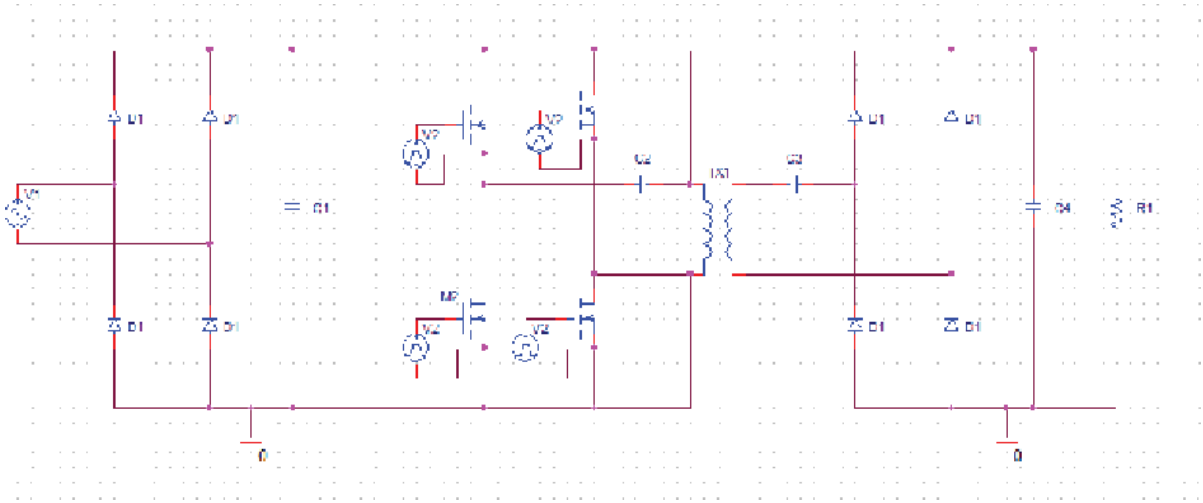
Bu projede, orta mesafelerde güç aktarımı sağlayan manyetik rezonanslı kuplaj devre modeli ile tasarım gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de manyetik rezonanslı kuplaj devre modeli gösterilmektedir. Devre modeli PSpice devre tasarımı programında gerçekleştirilmiştir.

Manyetik rezonanslı kuplaj yönteminde Helmholtz bobinleri kullanılarak güç aktarımı gerçekleştirilmekte olup çalışmanın ilk aşamasında Helmholtz bobin tasarımları incelenmiştir. ANSYS Maxwell programında gerçekleştirilen örnek bir Helmholtz bobin çifti Şekil 2'de belirtilmiştir.

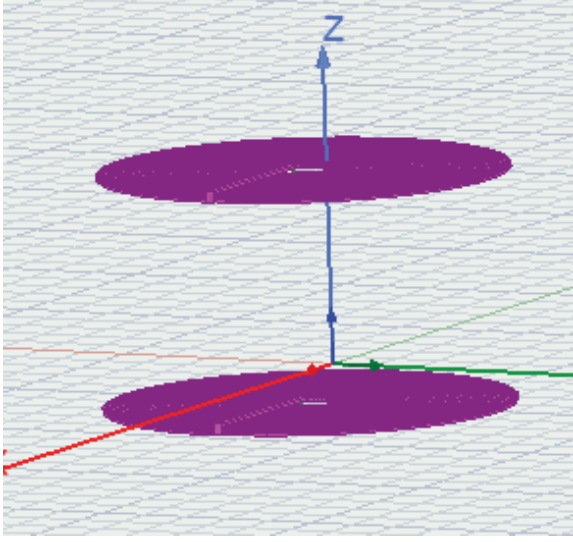
Bobin simülasyonları için ANSYS Maxwell ve ANSYS HFSS programları kullanılmıştır [8]. ANSYS Maxwell ve ANSYS HFSS programları kullanılarak bobin tasarımları için uygun frekanstaki gerilim indüklenmiştir ve mesafeye göre güç aktarım analiz çıktıları elde edilmiştir.

Simülasyon ortamında tasarlanan bobinlerin konumsal olarak da etki etmesiyle ilgili çalışmalar incelenmiştir. İncelenen bu çalışmalarda bobinlerin karşılıklı olarak konumlandırılmasıyla daha optimum bir çıkış elde edileceği sonucuna varılmıştır [9].

Bobinlerin tasarımı sırasında bobin yarıçapı, genişlik, sarım sayısı gibi parametreler doğrultusunda endüktans hesabı gerçekleştirilmiştir. Literatürde bobin tasarımlarında endüktans hesabı için Lundin ve Wheeler metotları kullanılmaktadır [10]. Gerçekleştirilen bu tasarımda, Wheeler metodu kullanılmıştır. Denklem (1)'de Wheeler metodu ile endüktans hesabı sunulmaktadır.



Şekil 1. Manyetik Rezonanslı Kuplaj Devre Modeli



Şekil 2. Helmholtz Bobin Çifti Örneği

$$L = 31.33\mu_0 \left(\frac{N^2 r^2}{8r + 11w} \right) \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde N sarım sayısını, r bobin yarıçapı, w bobin kalınlığını ifade etmektedir [10]. Bobinlerin karşılıklı endüktans değeri için Neumann formülü kullanılmaktadır [11]. Neumann formülü Denklem (2)'de verilmektedir.

$$M \cong \frac{\pi\mu_0(a_1a_2)^2n_1n_2}{2d^3} \quad (2)$$

Yukarıdaki denklemde n_1 ve n_2 alıcı ve verici bobinlerinin sarım sayılarını ifade etmektedir. μ_0 , boşluğun manyetik geçirgenliğini ifade etmektedir ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m). a_1 ve a_2 sırasıyla alıcı ve verici bobinin yarıçaplarını ifade etmektedir. d , bobinlerin arasındaki mesafedir.

Gerçekleştirilen bu ölçümler doğrultusunda uygun frekans frekansı seçimini gerçekleştirilmektedir. Devrenin rezonans frekansında çalışması için tasarımı gerçekleştirilen bobinler kullanılarak uygun kapasitör seçimi gerçekleştirilmektedir. Denklem (3)'te rezonans frekansı formülü verilmektedir [11].

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

L , alıcı ve verici bobinlerin endüktans değeridir (H). C , kapasitörün sığasını (F) cinsinden ifade eder. f_r rezonans frekansını belirtir (Hz).

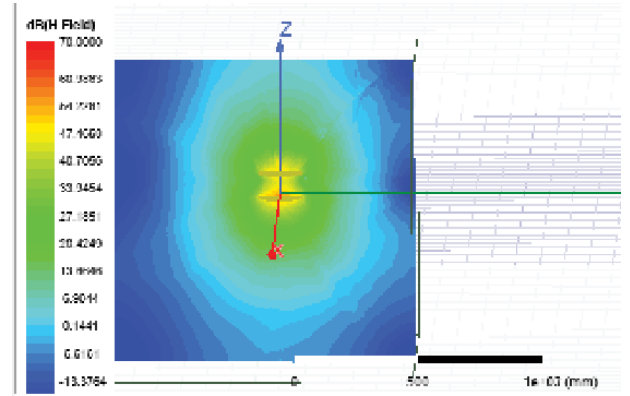
Tasarımının istenilen frekansta ve çıkış gerilimde gerçekleştirebilmek için sürücü devre tasarımı yapılmıştır.

IV. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

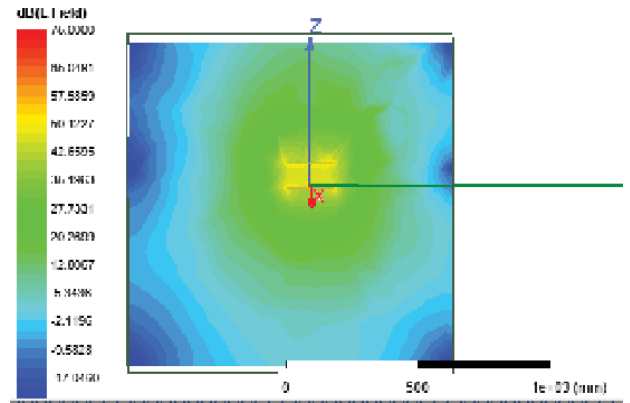
A. Bobin Tasarımı

Helmholtz bobin tasarımları için yarıçap, sarım sayısı, bobin kalınlığı parametreleri esas alınarak bobin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bobin tasarımları, ANSYS Maxwell programında yapılmıştır. Ayrıca tasarlanan bobinlerinin konumsal hizalama yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan bobinlerin parametreleri, sarım sayısı (N) 40 yarıçap (r) 5 cm, bobin genişliği (w) 0,5 milimetre olarak gerçekleştirilmiştir. Bobinlerin endüktans değeri hesabında Wheeler metodun kullanılmış ve simülasyon programlarında elde edilen değer ile tasarım sırasındaki değer ölçülmesi sonucunda endüktans değeri 380 uH olarak tamamlanmıştır. Şekil 3-4'te Ansys Maxwell programındaki tasarlanan bobinlerinin elektrik alan ve manyetik alan analizleri verilmektedir. Bobin tasarımları 82 kHz frekansta gerçekleştirilmiştir.

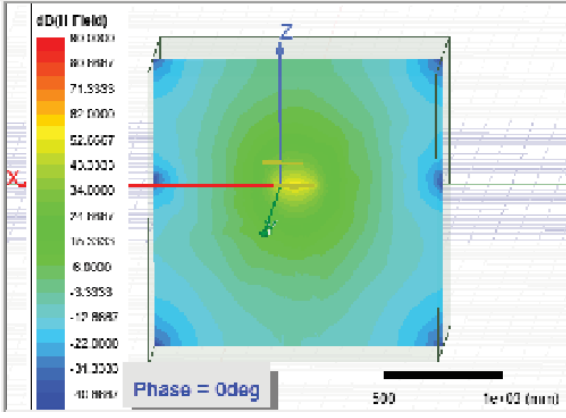


Şekil 3. Manyetik Alan Analizi



Şekil 4. Elektrik Alan Analizi

Tasarım aşamasının devamında konumsal üzerine çalışmalarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 5'te konumsal üzerine manyetik alan analizi verilmiştir.



Şekil 5. Konumsal Manyetik Alan Faz Analizi



Şekil 7. Şarj İstasyonu Tasarımı

V. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLASI KATKISI

A. Proje Ekibinin Kazanımları

Şarj sistemini tasarımı ile proje ekibi; elektronik cihazların batarya sistemleri ve bobin tasarımları için çeşitli simülasyon programları kullanarak endüktans hesabı ve tasarımların somut halde gerçeklemesi konularında kendilerini geliştirme fırsatı sağlamıştır. Aynı zamanda teorik olarak bilinen devre tasarım parametrelerinin somut bir çıktıya dönüştürerek teorik bilgilerini geliştirmiş olup bu tasarımların laboratuvar ortamında tamamlanması ile çeşitli elektronik cihazların kullanımındaki bilgilerini geliştirme fırsatı sağlamıştır.

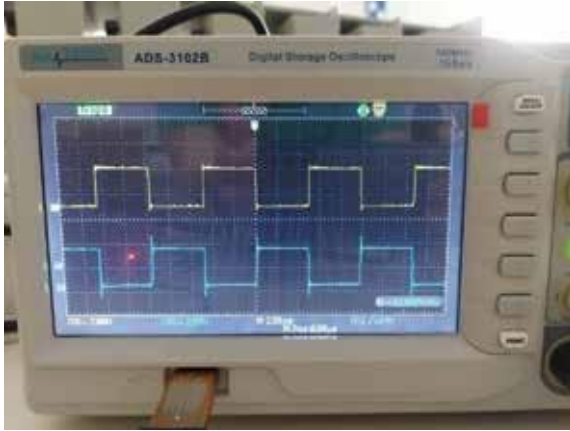
B. TUSAŞ'a Olası Katkısı

Bu çalışmaların geliştirilmesiyle gereksiz kablo kullanımı azalmış olup kablo ve yedek bataryalardan kaynaklı çevre, maliyet ve güvenlik anlamındaki olumsuzluklar ortadan kalkacaktır. Proje sonunda ortaya çıkan ürün ile orta mesafeden gerçekleşen kablolu güç transferi ile İHA'lar çalışmalarına kesintisiz bir şekilde devam edebilecektir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen şarj sisteminin elektronik cihazlara uygulanabilirliği, lisansüstü eğitim sürecinde araştırılacaktır. Projenin savunma sanayinde, çeşitli havacılık ve elektronik cihazlarda da kullanılabilir olması ile batarya sistemlerden kaynaklı olumsuzluklar ortadan kalkacaktır.

VI. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Gerçekleştirilen bu çalışma ile sadece İHA için değil elektronik ürünlerin birçoğuna etki etmesi planlanmaktadır. Bu çalışmaların devam etmesi ile elektronik ürünlerdeki şarj sırasındaki kullanamama gibi sorunların ortadan kalkması planlanmaktadır. Aynı zamanda kablo kullanımından kaynaklı olumsuzlukların ortadan kaldırılması düşünülmüştür. Şu anda da kablolu güç transferi üzerine çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmekte olup günlük olarak kullanılan birçok elektronik alet içinde çeşitli tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu tasarımların dışında yüksek güç aktarımı ve mesafe yönünde çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 6. Tetikleme Frekansının Osiloskop ile Ölçümü

Gerçekleşen bu şarj devresi tasarımı sonucunda İHA şarj devresine inmeden de güç aktarımı gerçekleşebilmektedir. Tasarım sonucunda, 12 cm uzaklıkta 3.4 V değerindeki gerilim gözlenmiştir. Gerçekleşen bu tasarım ile İHA o bölgede çalışmalarına devam ederken de şarj işlemi gerçekleşebilecek olup yedek bataryalara veya bağlantı elemanlara olan ihtiyaç ortadan kalkmıştır. Gerçekleştirilen şarj istasyonu tasarımı Şekil 7'de verilmiştir.

Lisansüstü eğitimde, çalışmalarına daha uzak mesafelerde daha yüksek güç aktarımı ile çeşitli elektronik aletlerin birlikte şarj edilmesi üzerine devam edeceğim.

VII. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma, 2020 yılı 1. dönem TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Desteği Programı (Proje No: 1139B412000523) ve 2020 yılı Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Projeleri (Proje No:20201015S232001) kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Torun, Abdulvahit. "İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması", 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.
- [2] Polat, B. Deniz, And Özgül KELEŞ. "Lityum İyon Pil Teknolojisi" TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası (2012): 42-48, 2012.
- [3] İspir, Barış. *Elektronik Cihazlarda Kablosuz Güç Aktarım Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2020.
- [4] Imura, Takehiro, Hiroyuki Okabe, And Yoichi Hori. "Basic Experimental Study On Helical Antennas of Wireless Power Transfer For Electric Vehicles By Using Magnetic Resonant Couplings." 2009 IEEE Vehicle Power And Propulsion Conference. IEEE, 2009.
- [5] Griffin, Brent, And Carrick Detweiler. "Resonant Wireless Power Transfer To Ground Sensors From A UAV." 2012 IEEE International Conference On Robotics and Automation. IEEE, 2012.
- [6] Song, Chiuk, Et Al. "EMI Reduction Methods In Wireless Power Transfer System For Drone Electrical Charger Using Tightly Coupled Three-Phase Resonant Magnetic Field." IEEE Transactions On Industrial Electronics 65.9 (2018): 6839-6849.
- [7] Aktaş, Cemil Kablosuz Enerji Aktarımı Temelleri ve Uygulama Alanları Ocak 25, 2021 Aktif Group Erişim Adresi: <https://aktif.net/kablosuz-enerji-aktarimi-temelleri-ve-uygulama-alanlari/>
- [8] Kaplan, Orhan. "Kablosuz Güç Aktarımı İçin Karşılıklı Endüktans Hesaplama Aracının Geliştirilmesi." Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji 7.1 (2019): 37-48.
- [9] Ağçal, Ali, Nur Bekiroğlu, and Selin Özçira. "Manyetik Rezonanslı Kuplaj ile Kablosuz Enerji Transferinde Hizalanmış ve Hizalanmamış Durumların Limitlerinin İncelenmesi." Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 30.3 (2018): 67-73.
- [10] Tezcan, Yeliz, Hasret Ünal, and Mutlu Boztepe. "Endüktif Kuplajlı Kablosuz Güç Aktarım Sistemlerinin Analizi ve Tasarımı". V. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler, 18-21 Ekim 2017.
- [11] Fincan, Bekir. *Elektrikli Araçlar İçin Kablosuz Şarj Cihazı Tasarımı. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2015.

İş Modeli Kanvas ve Yakın İş Modellerinin Savunma ve Havacılık Sektörü Firmalarına Uygulanabilirliğinin İncelenmesi

Evaluation of Business Model Canvas and Similar Model Applications on Aerospace & Defense Industry

Emre Ayhan
Aksaray Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği
Aksaray, Türkiye
emreayhaneem@hotmail.com

Onur Uludağ
Aksaray Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği
Aksaray, Türkiye
onuruludag@aksaray.edu.tr

Merve Özdemir
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Ankara, Türkiye
merve.ozdemir@tai.com.tr

Metin Mustafa Karasazoğlu
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Ankara, Türkiye
metin.karasazoglu@tai.com.tr

Özetçe — Savunma ve havacılık sanayinin rekabetçi koşulları ve iş geliştirme süreçlerinin karmaşıklaşmasına karşılık daha verimli ve etkin bir iş planı hazırlanmalıdır. Firmanın, müşteriler ve tedarik zinciriyle olan kurumsal bağlarının analizi için farklı iş modellerinin benimsenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada üniversite-sanayi işbirliği çerçevesinde kanvas ve benzeri iş modellerinin havacılık ve savunma sanayiisinde karar destek iş modellerinde uygulanması konu edilmiştir. Araştırma kapsamında literatür araştırması ve alternatif iş modelleri incelenmiştir. İş modeli kanvas ve alternatif modellerin gelişim süreci ve özelleştirilerek Türkiye’deki savunma ve havacılık sanayisinde kullanımı konusunda çıkarımlar ve uygulamalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler — savunma ve uçak sanayii, kanvas iş modeli, üniversite-sanayi işbirliği.

Abstract— Competitive environment of aerospace and defense industry and increasing complexity of business development, companies are looking for more efficient business models. We need to adopt customized business models to analyze relationship of the company with customers and other stakeholders in the supply chain. In this study, for the context of university-industry collaboration decisions, we investigate canvas business model decision support applications of aerospace and defense industry. We examine and review the literature for alternative business models. Finally, we present our conclusions on customized business models for aerospace and defense companies.

Keywords — aerospace and defense industry, canvas business model, university-industry collaboration.

I. GİRİŞ VE PROBLEM TANIMI

Proje geliştirme, inovasyon, ve araştırma faaliyetlerinde hem firmaya ek değer sağlaması hem de üniversitelere uygulama alanı vermesi bakımından üniversite ve sanayi işbirliklerinin önemi artmaktadır.

Sektörde yaşanan gelişmelere ayak uydurma, sorunlara çözüm geliştirme, ve daha uzun vadeli iş geliştirme planlarında şirketler üniversitelere esas paydaşlar olarak yer vermektedir. Üniversite-sanayi işbirlikleri yenilikler geliştirilmesine yönelik inovasyon ekosistemleri haline gelecek önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmelidir. Pek çok firma, erken dönem inovasyon ve proje geliştirme konularında üniversitelerden yararlanmaktadır.

Böylece firmalar sorun çözme ve yenilikler konusunda bir paydaş kazanırken, üniversiteler geliştirdikleri projeleri uygulama alanı bularak sanayi gelişimine katkı sağlayabilmektedir.

Üniversite-sanayi işbirlikleri, genel kavram ve maksat olarak çok cazip görünmekle birlikte yapılandırılması ve verimli bir şekilde sürdürülmesi hem üniversite hem de sanayi açısından her zaman istenildiği şekilde gerçekleşmemektedir. Paydaşların farklı hedeflerinin olması, iletişim becerisi ve yoğunluğunun her zaman yüksek olmaması. Çalışma kültürü ve idari işlerde farklar bulunması gibi nedenlerle üniversite-sanayi işbirlikleri düşük iş verimi ve motivasyon eksikliği ile sonuçlanabilmektedir.

Üniversite-sanayi işbirliklerinde iş verimini ve sürdürülebilirliğini arttırabilmek amacıyla iş modelinin iyi tanımlanması ve yapılandırılması büyük önem arz etmektedir. Hem firmalar için hem de üniversiteler açısından daha verimli bir işbirliği, daha iyi değer üretme, somut ve sayısallaştırılabilir çıktılar elde edilebilmesi amacıyla iş modelinin iş modelinin daha net ortaya koyulması ihtiyacı farkedilmiştir.

Bu çalışmada üniversite-sanayi işbirliği yapısında farklı iş modellerinin uygulanabilirliği ve analizi, savunma ve havacılık sektörü özelinde incelenecektir. Daha verimli ve somut sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla üniversite-sanayi işbirliği konusunda iş modeli değerlendirilmesi yapılacaktır.

Savuna ve havacılık sanayi, farklı kısıtları bulunan paydaşların farklı isteklerine adapte olmayı gerektiren bir sektördür. Bu yüzden kullanılan iş planlarında hızlı bir şekilde değişikliğe gidilebilme veya sektöre özel planlamalar yapabilmek önem arz etmektedir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Her zaman tam olarak yapılandırılmasa veya dökümantasyonu kayıt altına alınmasa da kuruluşun operasyonlarını nasıl yürütmeyi uzun vadede planladığına göre stratejiler ortaya konmaktadır [1]. Bu planlama stratejileri, firmanın operasyon kabiliyetlerine belirli ölçüde yansiyarak saha faaliyetlerinde yer almaya başlar [14]. Diğer yünden, farklı iş modelleri işletmenin şu anda ne durumda olduğunu tüm paydaşlarıyla kapsamlı bir şekilde ele alarak kuruluşun şartlarını en iyi şekilde açıklamaya çalışır [3].

Daha sonra bu planlama stratejileri, operasyon kabiliyetleri ve kurulan iş modelleri birleştirilerek birbirlerine bilgi akışı ve faaliyetlerini şekillendirme konusunda bildirimlerde bulunarak iş geliştirme konusunda yardımcı olmaktadır [9].

Kuruluşlar yeni teknoloji, fikir ve kavramlarını kuruluş iş modelleri vasıtasıyla ticarileştirmek istemektedir. [11]'e göre bir iş modeli işletmenin yapısal yönlerini ve operasyon mantığını açıklamaya yönelik kavramsal bir gösterim olarak düşünülebilir.

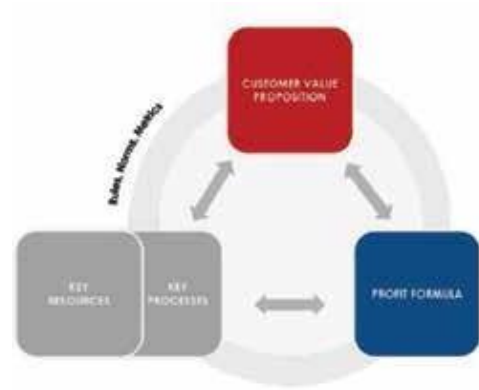
Bu iş modeli altında anahtar ortaklıklar, anahtar faaliyetler, değer ürünleri, müşteri ilişkileri, müşteri segmentleri, anahtar kaynaklar, dağıtım kanalları, mali yapı, gelir mekanizmaları gibi 9 fonksiyonel değer bloğu bulunmaktadır [12]. Bu tuval (kanvas) olarak adlandırılan daha geniş resim, işletmenin daha doğru kararlar almasına yardımcı olmak amacıyla geliştirilen bir iş modelidir.

Bu geliştirilen araç (kanvas iş modeli), operasyon faaliyetlerini tanımlama ve geliştirme yollarını araştırma konusunda da destek olmaktadır [12]. Bu fonksiyonel bloklar şemalandırılarak müşteri ilişkileri, dağıtım kanalları gibi faaliyetlere nasıl katma değer sağladığı daha iyi değerlendirilebilir.

A. Alternatif İş Modelleri ve Yaklaşımları

İş modeline daha geniş çerçevede baktığımızda [7]'in dört kutu modeli gibi daha geniş bakış sunan iş modelleriyle karşılaşmaktayız. Bu model, müşteri odaklı olarak ürünler nasıl dağıtılabilir, anahtar kaynak ve prosesler kuruluşu getiri olarak nasıl geri dönebilir konusuna yoğunlaşmaktadır.

Tablodaki şekilde ortak yönler dikkatli bir şekilde belirlenirse, ortak çalışmalar da bu paylaşılan hedeflere yönelik sürdürülebilir.



Şekil. 1. Dört Kutu Modeli [6]

TABLO I. ÜNİVERSİTE VE ENDÜSTRİ ARASINDA ORGANİZASYONEL KÜLTÜRÜN KARŞILAŞTIRILMASI [1]

Üniversite	Ortak Değerler	Endüstri
Kamu Misyonu	Toplum için katma değer	Paydaş değerleri
Yayınlar	İtibar ve bilinirlik	Mali getiri
Proje araştırması	Araştırma	Pratik araştırma
Teorik çalışmalar	Sosyal amaçlar	Sonuç odaklı
Paylaşılan kaynaklar	Rekabet	Özel kaynaklar
Paylaşılan sonuçlar	Değer kazanımı	Performansın devamlılığı
Bilgi kazanımı	Bilgi paylaşımı	Bilgi dökümantasyonu
Açık kaynaklı	Ortak inovasyon	Özel hassas bilgi
Araştırma ihtiyaçları	Müşteri ihtiyaçları	Pazar ihtiyaçları
Eğitim	Uzmanlık değişimi	Uzmanlığın sürdürülmesi

Açık kaynaklı inovasyon konusunda da üniversite ve sanayi işbirliği modelleri önerilmiştir [5].

[10] tarafından sunulan iş modeli tuvali (şekil-2), işletmenin dört (4) temel faaliyetini kapsayan dokuz (9) yapı bloğu önermektedir. İş modeli tuvali, işletmenin rakiplerine veya geçmişine bakmayı değil, firmanın şu andaki durumuna yönelik yenilikçi modeller geliştirerek müşterilerin karşılanmamış ve yeni ihtiyaçlarını karşılamaya odaklanmaktadır [12].

B. Entegre İş Modeli

[16] Sunduğu iş modelinde, stratejik, müşteriyle ilişkili ve değer oluşturmaya yönelik farklı işletme faaliyetleri için ayrı ayrı iş modelleri oluşturarak bu modellerin yapısal bir şebeke oluşturmasını amaçlamaktadır.

Stratejik bileşenler daha çok işletmenin amaçları, genel yapısı ve bilgi akışı gibi daha genel yapısal özelliklere odaklanırken, müşteri bileşenleri kısmındaki iş modelleri müşterinin ihtiyaçlarının daha iyi keşfedilmesine yönelik hazırlanmaktadır. Değer oluşturma iş modelleri ise, tespit edilen müşteri ihtiyaçları ve stratejik hedeflere göre, operasyonel faaliyetler nasıl daha katma değerli hale getirilir arayışıyla hazırlanmış modellerdir.



Şekil 2. Kanvas İş Modeli [12]

TABLO II. ENTEGRE İŞ MODELİ [16]

Entegre İş Modelinin Bölümleri			
Stratejik Etmenler	Strateji Modeli	Kaynak Modeli	Şebeke Modeli
Müşteri ve Pazar Bileşenleri	Müşteri Modeli	Pazar Sunumu Modeli	Gelir Modeli
Değer Oluşturma Bileşeni	Ürün ve Servislerin Üretimi	Tedarik ve Satın Alma Modeli	Finans Modeli

C. İş Modeli Kılavuzu (Business Model Navigator)

Gasman ve diğerlerinin sunduğu modele göre pek çok iş modeli mevcut elementlerin farklı kombinasyonları şeklinde ortaya çıkmaktadır. Sundukları iş modeli kılavuzu, kimin müşteri olduğuna, ürün olarak ne sunulduğuna, ve nasıl değer sağlandığına odaklanmaktadır.

Bu yönler tespit edilirken de katma değer önerisi, tedarik zinciri ve gelir yapısı incelenmektedir [4]. Paydaşlar ve çevresel önemli faktörler de analiz edilerek dikkate alınmaktadır. Başlangıç, tasarlama, entegrasyon ve uygulama şeklinde dört (4) aşamalı bir prosedür takip etmektedir [4].



Şekil 3. İş Modeli Kılavuzu [4]

III. SEKTÖREL ÖZELLİKLER

Havacılık ve savunma sanayisinde havacılık ve uzay, silah ve mühimmat, askeri gemi, otomotiv ve zırhlı, roket ve füze, elektronik ve giyim gibi çok geniş bir faaliyet alanı olduğunu söyleyebiliriz [17].

Savunma ve havacılık sanayisi için ürünün istenilen zaman ve performansta çalışması gibi kalite ve güvenilirlikle ilgili özellikleri fiyat ve maliyetten önce gelmektedir [18]. Bu

sektörde faaliyet gösteren firmaların önemli bir kısmı devlet destekli veya direk devlet iştiraki olan kuruluşlardan oluşmaktadır [18].

Firmalarca ortaya konan ürün çoğu zaman devletin kendi silahlı kuvvetlerince öncelikli olarak kullanım amacı taşıyan ürünlerden oluşmaktadır. Güvenilirliği ve kullanımı kanıtlandıktan sonra ürün, hizmet, veya sistem başka ülkelere de pazarlanabilmektedir [19].

Büyük çaplı projelerde ve geniş kapsamlı sistemlerin geliştirilmesinde ülkelerin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla birkaç büyük firmanın ve ülkenin konsorsiyum şeklinde bir araya gelmesi yaygın uygulama haline gelmiştir [20]. Kalite, üretim süresi, performans ölçütlerinin yanında yüksek maliyetli ürün, hizmet ve sistemler olduğu için fiyat konusunda da rekabet ortaya çıkmaktadır [20].

Savunma ve havacılık sanayiinin bir ayırıcı özelliği de ileri teknoloji uygulamaları gerektiren, çoğu zaman ilk defa geliştirilen patent ve hassas bilgi içeren inovasyon ürün, hizmet ve sistemlerinin üzerinde çalışılmasıdır [21]. Ağır çevre şartlarında, hatasız ve devamlı çalışma gerektiren ortamlarda kullanıldığı için dizayn, kalite ve kontrol konusuna daha fazla ağırlık verilmektedir [21].

Havacılık ve savunma sanayisinde proje, ürün ve sistem geliştirilmesi genellikle uzun süreli arge faaliyetleri gerektirdiği için sözleşme ve ortak çalışma anlaşmaları uzun süreli olmaktadır [22]. Bu yüzden tedarik zincirindeki stratejik ortaklıklar bir ürün bazında olmak yerine teslimat sonrasında da uzun vadeli çalışmalara yansımaktadır [22]. Üretimde yer alan büyük firmalar yüksek teknoloji gerektiren kısımları kendileri üretirken diğer kısımları daha ucuza üretebilecek ülke ve firmalardan tedarik etmeyi tercih etmektedirler [23].

Yeni ürünlerde firmalar, dizayn ve arge, ana montaj ve pazarlama faaliyetlerine ağırlık verirken alt parçaların üretiminde tedarikçilerden yararlanmaktadır [23]. Bu nedenle savunma ve havacılık alanında KOBİ faaliyetleri ve koordinasyonu önem kazanmaktadır [23]. Savunma ve havacılık sanayisinde maliyetler genellikle yüksek olup müşteri ile sürekli iletişim halinde uzun bir ürün, hizmet ve sistem geliştirme gerektirmektedir [23]. Ürün geliştirme sürecinden sonra ise test ve değerlendirme prosedürleri de uzun süreler almaktadır. Sektörde yer alan tedarikçiler, talep değişkenliğini ve risklerini azaltmak adına müşteri portföyünü genişletme yoluna gitmektedir.

Savunma ve havacılık sanayisinin bilgi birikimine dayalı olması, daha az sayıda büyük ana çatı firmaların bulunmasını açıklamaktadır. Ayrıca, alanında uzman ve uzun süreler eğitim görmüş personel ihtiyacı bulunmaktadır [23].

Havacılık ve savunma sektöründe, ana üretim firmalarında da projelerin dizayn veya test süreçlerindeki sorunlar gibi çeşitli nedenlerle yüksek batık maliyetler ortaya çıkmaktadır [23]. Ana montaj, arge, tasarım faaliyetleri, ve pazarlama dışındaki alt parçalar için çok sayıda tedarikçi ve yüklenici firmayla çalışılması da sorunların önlenmesi için yakın iletişim ve yoğun denetleme faaliyetlerini içeren stratejik ortaklıklar gerektirmektedir [23].

Özellikle iç pazarda sektörün tek alıcısı bulunmasından dolayı sınırlı bir talebe göre üretim yapma zorunluluğu bulunmaktadır. Diğer bir kısıt da gizlilik ve güvenlik konularında hassasiyet gerektiren direk ülke savunması ile ilgili gelişmiş teknoloji ve kritik ürün, hizmet ve sistemlerin geliştirilmesidir [24]. Bu hassasiyetler dikkate alınarak, savunma ve havacılık ürünlerinin alınma yönelik özel şartname ve sözleşme şartları belirlenmesi ve ürünün geliştirilmesi ve kullanıma hazır getirilmesindeki geçen bütün süreçte buna yönelik denetimlerden geçirilmesi öngörülmektedir [24].

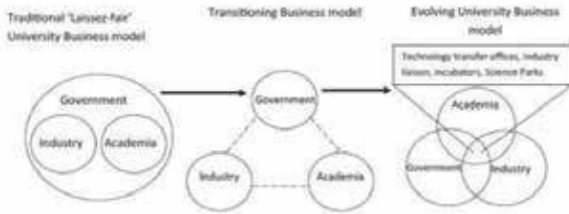
IV. ÖNERİLEN İŞ MODELİ

Kuruluşların ve sektörlerin yapısal durum ve ihtiyaçlarına göre farklı iş modelleri, paydaşların seçimi ve stratejik kararlarda özel durumları dikkate almamıza yardımcı olacaktır.

Örneğin, şehir planlamaya yönelik bir iş modeli geliştirme konusunda sosyal etkiler ve çevresel etmenlerin ayrı birer blok olarak eklenmesi stratejik kararlarda önemli bir yer tutacağından önemli katkı verebilir [25]. Çünkü sosyal hassasiyetlerin şehirle alakalı konularda öncelikli olarak dikkate alındığı aşikardır.

Üniversite sanayi işbirliklerinde de devletin çatı bir kurum olmasından ziyade, devletin farklı birimleri ile üniversite sanayi işbirliğini teşvik edici bir role bürünmesi daha gelecek vaadeden bir görüntü çizmektedir.

Teknoloji transfer ofisleri, tekno park, orak girişim grupları gibi yapılarla bu işbirlikleri desteklenme yoluna gidilmektedir. Fakat üniversite ve sanayi kuruluşlarının projelerde görev ve yetkilendirme kapsamı ve koşullarının netleştirilmesi için yeni iş modellerine ihtiyaç bulunmaktadır. Üniversite ve sanayi kuruluşlarının farklı motivasyon ve hedeflerle yola çıkması da işbirliklerini orta uzun vadede olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4. Üniversite Sanayi İşbirliği Değişimi [26]



Şekil 5. İş Modeli Kanvası

Üniversite sanayi işbirliklerindeki zorlukları aşma ve havacılık ve savunma sektörünün dinamiklerini dikkate alarak kanvas iş modeline iki farklı blok ekleyerek daha kapsamlı bir resim çizecek 11 bloktan oluşan bir model öneriyoruz.

Eklenen bloklar, anahtar veri toplama ve transfer faaliyetleri ile kanunî düzenlemeler şeklindedir. Günümüzde, veri toplama faaliyetleri, dijitalleşme nedeniyle müthiş artış göstermiştir. Eskiye göre elimizde çok fazla veri bulunması bunu nasıl değerlendireceğimiz ve saklayacağımız gibi soruları ortaya çıkarmaktadır. Veri toplama ve transfer bloğu eklenmesinde, verilerden en yüksek paylaşıma yaparak en fazla faydayı sağlarken, hassas verileri filtreleme konusunda nasıl bir yol izleneceğini dikkate almamızı sağlayacağı düşünülmüştür.

Kanunî düzenlemeler ise çok geniş anlamda incelenebilir. Öncelikle devletin ve diğer ülkelerin ne gibi şartları bulunduğu savunma ve havacılık sanayinde kritik öneme sahiptir. Farklı bir boyuttan bakarsak, üniversite sanayi işbirliklerinde nasıl bir düzenlemeye gidilmelidir gibi soruları da ortaya çıkarmaktadır. Sanayi kuruluşlarının ve üniversitelerin işbirliklerinde şeffaf ve etkili iletişim, motivasyonlu bir çalışma için nasıl bir yapıya evrilmesi gerektiği bu kısımda işlenebilir.

TABLO III. ANAHTAR VERİ TOPLAMA TRANSFER SERVİSLERİ VE YASAL DÜZENLEMELER

Veri Toplama ve Transfer Servisleri	Yasal Düzenlemeler
Hangi veri tipleri düzenli olarak toplanacak ve saklanacaktır?	Devletin ve uluslararası kurumların hangi düzenlemeleri işbirliğine konu projeyi etkilemektedir?
Yapılan çalışmalarda hangi veri tipleri paylaşıma açık olacaktır?	Devletin özellikle dikkate alınması gereken kritik şartları nelerdir?
Veri tipleri hangi şartlarda ve kime açık olacaktır?	Nasıl düzenlemelerle üniversite sanayi işbirlikleri daha fonksiyonel hale getirilebilir?

V. ELDE EDİLEN KAZANIMLAR, TUSAŞ'A OLASI KATKILAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmayı gerçekleştirirken, havacılık ve savunma sanayinin paydaşlarıyla ilişkilerinin çok zorluklar içerebileceği farkedilmiştir. Üniversite sanayi işbirlikleri özelinde, uygun rehber olacak iş modellerine büyük ihtiyaç olduğu farkedilmiştir.

Üniversite sanayi işbirliklerinde amaç, gerekli motivasyon, iletişim gibi noktalarda daha fazla araç geliştirmeye ihtiyaç olduğu görülmektedir. İleriki çalışmalarda daha kapsamlı bir vaka çalışması uygulaması bize çok daha yardımcı olacaktır. Buna ek olarak endüstri ve üniversiteyi ayrıntılı inceleyebilecek her bloğu iki yönden de ayrıntılandıran ikili bir kanvas iş modeli önerilmesi de katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Casadesus-Masanell, R., Ricart, J.E., 2010. "From strategy to business models and onto tactics." Long Range Planning 43 (2-3), pp. 195-215.
- [2] Casadesus-Masanell, R., Zhu, F., 2010. "Strategies to fight Ad-sponsored rivals." Management Science 56 (9), pp. 1484-1499.
- [3] DaSilva, C.M. and Trkman, P., 2014, "Business Model, What It Is and What It Is Not", Long Range Planning, 47, pp. 379-389.
- [4] Gassmann, O., Frankenberger, K., Csik, M., 2014, "The business model navigator. 55 models that will revolutionise your business." Harlow: Pearson.
- [5] Ivascu, L., Cirjaliu, B. and Draghici, A., 2016, "Business model for the university-industry collaboration in open innovation.", Procedia Economics and Finance 39, pp. 674 - 678.
- [6] Johnson, M. and Euchner, J., 2018, "Developing New Business Models.", Research-Technology Management, 61:6, pp. 13-19.
- [7] Johnson, M. W., 2018, "Reinvent your business model."
- [8] Lewandowski, M., 2016, "Designing the Business Models for Circular Economy - Towards Conceptual Framework, Sustainability", 8, 43.
- [9] Lindman, M.T., 2007. Remarks on the quality of the construction of business concepts. European Business Review 19 (3), 196-215.
- [10] Osterwalder, A., 2005, "The Business Model Ontology - a proposition in a design science approach." Dissertation, University of Lausanne, Switzerland: 173.
- [11] Osterwalder, A., Pigneur, Y., & Tucci, C. L., 2005, "Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept." Communications of the association for Information Systems, 16(1), pp. 1-25.
- [12] Osterwalder, A. and Y. Pigneur, 2010, "An ontology for e-business models, in Value Creation from E-Business Models." W. Currie, ButterworthHeinemann.
- [13] Osterwalder, A., & Pigneur, Y., 2010, "Business model generation: A handbook for visionaries, game changers, and challengers." Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- [14] Ruddock, A., 2007. "Michael O'Leary: A Life in Full Flight." Penguin, Dublin, Ireland.
- [15] Steinhofel, E., Orth, R. and Kohl, H., 2016, "Business Model Innovation: A Comparative Analysis", European Conference on Innovation and Entrepreneurship, p. 770, Academic Conferences International Limited.
- [16] Wirtz, B. W., Pistoia, A., Ullrich, S., Göttel, V., 2015, "Business Models. Origin, Development and Future Research Perspectives." Long Range Planning.
- [17] Zengin, R. (2010), Savunma Sanayinin Gelişimi ve Türkiye'de Savunma Harcamalarının Ekonomik Etkileri, (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- [18] The Aerospace Division of the Department of Trade and Industry (DTI) and The Defence Export Services Organisation (DESO) of the Ministry of Defence (MoD), Report on the Recent Trends in UK Defence Spending, London, 1 March-5 July 1995, s. 7.
- [19] Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) Makina Mühendisleri Odası (MMO), "1991 Sanayi Kongresi Savunma Sanayi Sektör Raporu", 1991 Sanayi Kongresi Kitabı, MMO Yayın No: 149/3, Ankara, 1991, s.9.
- [20] Akgül, A., Savunma Sanayi İşletmelerinin Yapısı ve Türk Savunma Sanayi, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1986 (Türk Savunma Sanayi), s.12.
- [21] Çakmakçı, A., Harp Sanayi, Konya, 1977, s.1.
- [22] Canbek, B., (2012). Establishing Effective and Efficient Supply Chains Within Turkish Aerospace Industries: The Case of Aerospace Manufacturers. Master of Purchasing and Supply Chain Management at the Westminster Business School of the University of Westminster.
- [23] Teceral, T.Ö., 2017, Global, National and Local Dynamics of Turkish Defence and Aviation Industry: The Case of Ankara, 11-21.
- [24] Kayan, A., Savunma Sanayinin Gelişimi ve Savunma Harcamalarının Ekonomik Büyüme ile İlişkisi, tez, Adnan Menderes Üniversitesi, 2017.
- [25] Paraskevi Giourka, Mark W. J. L. Sanders, Komninos Angelakoglou, Dionysis Pramangiolis, Nikos Nikolopoulos, Dimitrios Rakopoulos, Athanasios Tryferidis and Dimitrios Tzovaras, The Smart City Business Model Canvas—A Smart City Business Modeling Framework and Practical Tool, Energies 2019, 12, 4798;
- [26] Etzkowitz, H. and Leydesdorff, L. (2000) The dynamics of innovation: from national systems and 'Mode 2' to a triple helix of university-industry-government relations. Research Policy, 29, 109-123.

Hava Muharebesinde Otonom Savunma Algoritmasının Geliştirilmesi

Development of Autonomous Defense Algorithm in Air Combat

Ayça Uçar
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
aycaucar5@gmail.com

Gözde Demirel
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
gzde1998@gmail.com

Çağlar Karahan
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
İstanbul, Türkiye
caglar.karahan@tai.com.tr

Elifnur Acar
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
elif.98.acar@gmail.com

Yağmur Demirel
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
yagmurdemirel39@gmail.com

Şirin Akkaya Akbatı
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
İstanbul, Türkiye
sirin.akkayaakbati@tai.com.tr

Gamze Yıldız
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
gamzeyildiz050@gmail.com

Şahin Emrah
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
sahin.emrah@eng.ankara.edu.tr

Hasan İşçi
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
İstanbul, Türkiye
hasan.isci@tai.com.tr

Özetçe—Bu çalışma kapsamında, temel hava muharebesi manevraları kullanılarak birebir muharebeler için otonom savunma algoritması geliştirilmiştir. Algoritma, hedef hava aracı ile beklenmedik bir şekilde karşılaşıldığı durumlarda saldırı üstünlüğünün sağlanması için en uygun muharebe manevrasını seçmeyi sağlamaktadır. Algoritmanın test edilmesi amacıyla saldıran ve savunan uçaklar için doğrusal olmayan dinamik modeller kullanılmıştır. Algoritmada manevra seçimi için temel savaş manevralarını içeren manevra kütüphanesinden uygun manevrayı seçecek kural tabanlı bir yapı önerilmiştir. MATLAB/Simulink ortamında yapılan benzetim çalışmaları ile algoritmanın başarımı test edilmiş ve sonuçlar gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler — bire-bir hava muharebesi, kural tabanlı yöntem, temel hava muharebe manevraları.

Abstract—Within the scope of this study, an autonomous defense algorithm has been developed for one-on-one combat using basic air combat maneuvers. The algorithm enables to select the optimum combat maneuver to provide attack superiority in unexpected encounters with the target aircraft. Nonlinear dynamic models for attacking and defending aircraft were used to test the algorithm. For maneuver selection, a rule-based structure is proposed that will select the appropriate maneuver from the maneuver library containing the basic combat maneuvers in the algorithm. The performance of the algorithm has been tested with simulation studies in MATLAB/Simulink environment and the results have been shown.

Keywords — one-to-one air combat, ruled-based method, basic air combat maneuvers.

I. GİRİŞ

Hava araçlarının tam otonom olarak kontrol edilmesi, günümüzde aktif bir araştırma konusudur. Buna paralel olarak askeri alanda insansız muharebe hava aracı (UCAV) teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte UCAV'ların savaş alanındaki rolü özellikle yakın hava muharebelerinde giderek artmaktadır. Hava muharebesinin temel amacı, düşmanı vurabilecek bir pozisyona gelmek yani saldırı pozisyonuna geçmek veya düşmanın vuruş avantajı olduğu pozisyonun uzaklaşarak düşman silahından kaçınmak yani savunma pozisyonuna geçmek şeklinde ifade edilebilir. Literatürde bu tür hava muharebeleri “Dogfight” olarak bilinmekte ve iki düşman uçak arasında, üstünlük kazanmak amacıyla yapılan dalaşmalar şeklinde tanımlanmaktadır. Bu muharebelerde kullanılan temel savaş manevraları ilk savaş uçaklarından günümüze kadar teknolojinin ve silahların gelişmesine paralel olarak çeşitlenmiştir. Savaş uçaklarının manevra kabiliyetlerini artırmak ve muharebe sırasında daha kolay avantaj elde edebilmek için otonom muharebe hava araçları büyük önem taşımaktadır.

Uçağın savaş sırasında uygulayacağı manevraya karar vermesi konusunda literatürde birçok farklı yöntem incelenmiştir. Skor fonksiyonu matrisini kullanarak diferansiyel oyun teorisi [11], takviyeli öğrenme ve hedef pozisyon tahmini [10], makine öğrenmesi ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemi [4] yöntemleri bunlara örnek verilebilir. Skor matrisi kullanılarak geliştirilen çalışmalarda min-max algoritmaları yeterince başarılı sonuç vermemektedir. Bunun sebebi manevra seçiminin en kötü durumlardan en iyisini seçme üzerine olmasıdır. Makine öğrenmesi yöntemleri

kullanılarak geliştirilen hava muharebesi çalışmalarında ise, öğrenme verisini elde etmek çoğunlukla güçtür. Bunlara paralel olarak temel savaş manevraları kullanılarak oluşturulan kütüphaneler üzerinden kural tabanlı manevra seçimi de oldukça yaygındır.

Bu çalışmada iki uçağın birbirlerine göre kısmi konum ve açı değerleri dikkate alınarak temel muharebe manevraları arasından en uygun olanı seçen bir algoritma önerilmiştir. Burada temel amaç saldıran uçağa karşı üstünlük kazanabilmektir. Başka bir ifadeyle, savunma durumundan saldırı durumuna geçebilmektir. Manevra seçimi için kural tabanlı bir yapı tercih edilmiştir. Manevra kütüphanesi literatürde var olan manevralar incelenerek oluşturulmuştur. Bu incelemeler doğrultusunda her bir manevra için iki uçağın bağlı geometrisine bağlı seçim koşulu belirlenmiştir.

Çalışma şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm II'de uçak dinamik modelleri verilmiş ve manevra kütüphanesi tanıtılmıştır. Bölüm III'te önerilen yöntem anlatılmıştır ve benzetim çalışmalarına yer verilmiştir. Son bölümde çalışma değerlendirilmiş ve kaynakça ile sonlandırılmıştır.

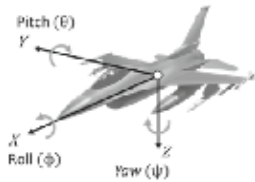
II. BENZETİM MODELİ ALTYAPISI

A. Uçağın Dinamik Modeli

Çalışma kapsamında saldıran ve savunan uçakların eş dinamikli olduğu kabul edilmiş ve dinamikler altı serbestlik dereceli doğrusal olmayan uçak denklemlerinin belirli koşullar altında sadeleştirilmesiyle elde edilen (1)'deki nokta-kütle yaklaşımı ile modellenmiştir [1].

$$\begin{aligned}\dot{x}_N &= V_T \cos(\theta) \cos(\phi) \\ \dot{y}_E &= V_T \cos(\theta) \sin(\phi) \\ \dot{z}_D &= -V_T \sin(\theta) \\ \dot{\psi} &= \frac{g}{V_T} \tan(\phi)\end{aligned}\quad (1)$$

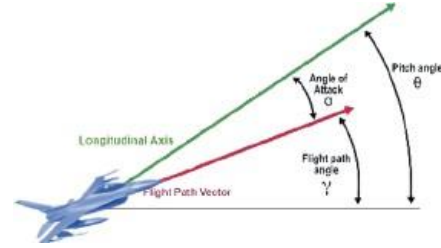
Denklem (1)'de yer alan x , y , z koordinatları uçağın dünya eksenindeki konumunu temsil eder ve N , E , D alt simgeleri sırasıyla kuzey, doğu, aşağı konumları sembolize eder. V_T uçağın gövde eksenine göre hızını gösterir. Uçağın Euler açıları sırasıyla ϕ yuvarlanma (roll, bank, yatış), θ yunuslama (pitch, flight path, uçuş yolu) ve ψ yalpa (yaw, heading, yön) ile tanımlanmıştır. g yerçekimi sabitini ifade etmektedir [1]. Şekil 1'de uçağın Euler açıları ve gövde eksen takımları gösterilmiştir.



Şekil 1. Uçağın Eksen Tanımları

Hücum açısı (AOA, Angle of Attack) en temel şekilde uçağın boylamsal eksenini ve uçuş hattı vektörü arasına kalan açıdır. Uçuş hattı açısı (flight path angle) ise yer kürenin yatay eksenini ile normal hattı yolu vektörü arasındaki açıdır. Tırmanma veya alçalma açısı olarak da bilinir. Hücum açısı (α)

ve uçuş yolu açısının (γ) toplamı, yunuslama açısına (θ) eşittir [2]. Bu açılar Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada hücum açısının sıfır alınabilecek kadar küçük olduğu varsayılırsa, uçuş yolu açısı ile yunuslama açısı birbirine eşit kabul edilmiştir. Yana kayma açısının da (sideslip angle) çok küçük olduğu ve düşük seviyeli kontrol sistemi ile başarılı bir şekilde kontrol edilebildiği varsayılmıştır.



Şekil 2. Hücum Açısı ve Uçuş Yolu Açısı

Yatma açısı (bank angle), uçağın yuvarlanma açısına eşit olarak alınmıştır. Bu varsayımlar altında uçak modelinin kontrol sürecini gerçek uçak kontrol süreci ile daha tutarlı hale getirmek için kontrolcü yapıları (2)'de gösterildiği gibi birinci dereceden zaman gecikmeli dinamikler tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}\dot{\phi} &= \frac{1}{\tau_p} (\phi_c - \phi) \\ \dot{\theta} &= \frac{1}{\tau_t} (\theta_c - \theta) \\ \dot{V} &= \frac{1}{\tau_v} (V_c - V)\end{aligned}\quad (2)$$

B. Manevra Kütüphanesi

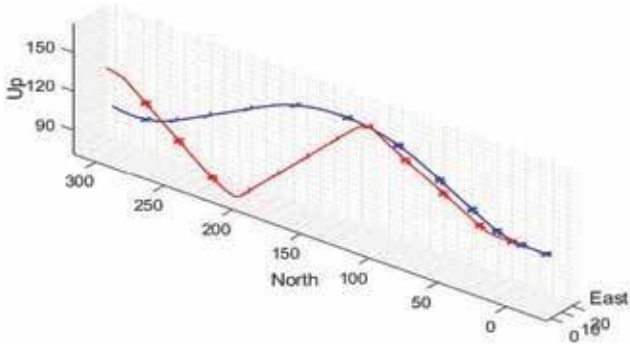
Bu bölümde literatürde bulunan ve en çok kullanılan temel hava muharebe manevraları incelenmiş [3], sınıflandırılmış ve ilgili kodları hazırlanmıştır. Bu manevralar özelliklerine göre savunma ve saldırı manevrası olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bir uçak savaşını kazanmak için herhangi bir manevra yaptığında diğer uçağa karşı yükseklik, hız mesafe gibi avantajlar elde eder. Doğru manevrayı seçmek üstünlük kazanmak için oldukça önemlidir. Aksi halde avantaj elde edemez ve savaş kaybeder.

TABLO I. MANEVRALARIN NUMARALANDIRILMASI

SAVUNMA		SALDIRI	
Manevra Adı	No	Manevra Adı	No
Barrel_Roll	1	Chandelle	2
Climb	3	Immellman	8
Defensive_Spiral	4	Low_YoYo	12
Vertical_Spiral	5	High_YoYo	13
Horizontal_Loop	6	StraightFlight	14
Vertical_Loop	7		
SplitS	9		
Left_Break	10		
Right_Break	11		
StraightFlight	14		

Manevraların hangi koşulda algoritma tarafından seçileceği belirlenirken, savaş muharebelerindeki stratejileri temel alınmıştır. Örneğin, Immelman, iyi bir saldırı, zayıf bir savunma manevrası ve rakibin yavaş hareket eden bir hedefe

dönüşmesini sağlar [4]. Tablo 1'de algoritmada kullanılan savunma ve saldırı manevraları yer almaktadır. 9 savunma, 4 saldırı manevrası ve her iki gruba dahil edilen Straight Flight manevrasıyla birlikte toplamda 14 farklı manevra kullanılmaktadır. Çalışmanın temel kapsamı savunma muharebesi üzerine olduğu için savunma manevraları sayısı daha fazla seçilmiştir. Manevra kütüphanesi her bir manevrayı gerçekleştirecek manevra fonksiyonlarından oluşturulmuştur. İlgili koşul sağlandığında manevra fonksiyonu aktif hale gelmekte ve uçak manevra için belirlenen süre boyunca manevrayı gerçekleştirmektedir. Örneğin Barrel Roll savunma manevrası hedef uçak rakip uçağın ateş hattındayken seçilebilecek bir maveradır. Bu manevrada uçak burnunu 10-15 derece kaldırarak manevraya başlar. Daha sonra uçağın kontrolü saat 7.30 veya 4.30 yönünde tutularak manevra sürdürülür. Bu sayede uçak ilerlemek yerine helezon hareketi yapar ve bu hareketten dolayı hızını azaltır [5]. Bu manevra fonksiyonunun çıktısı Şekil 3'te gösterilmiştir. Rakip uçak olan mavi uçağın saldırısına karşılık, hedef uçak yani kırmızı uçak Barrel Roll manevrasıyla savunma yapmaktadır.



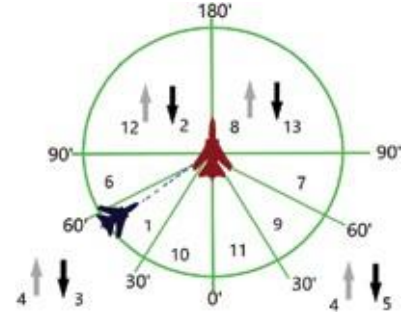
Şekil 3. Barrel Roll Manevrası

III. YÖNTEM

Bu bölüme başlamadan önce içeriğin anlaşılması için bazı ön bilgilerin verilmesi gerekmektedir. Bu çalışma temelde birebir hava muharebeleri için otonom savunma algoritması geliştirmeyi hedeflemiştir. Bu nedenle algoritmanın çalışacağı uçak, yani hedef uçak (*kırmızı uçak*) olarak isimlendirilmiş ve içerisinde farklı bir algoritmanın çalıştığı rakip uçak ise (*mavi uçak*) olarak belirtilmiştir. Algoritma içerisinde manevraları aktif hale getirecek koşullar rakip ve hedef uçakların geometrik ilişkileri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu geometrik koşullar uçakların birbirlerine göre bağıl konumları, bakış açıları (bearing angle) ve bağıl duruş açıları (aspect angle) olarak seçilmiştir. Şekil 4'te projede kullanılan manevra koşulları ifade edilmektedir. Üst yarım daire saldırı, alt yarım daire ise savunma durumunda seçilen manevraları göstermektedir. Şekil üzerinde numaralandırılmış manevralar Tablo 1'de açıklanmıştır. Örneğin mavi uçak sol arkamızda ve üstümüzde yer alıyorsa savunma manevrası olarak 3 numaralı Climb manevrası seçilecektir.

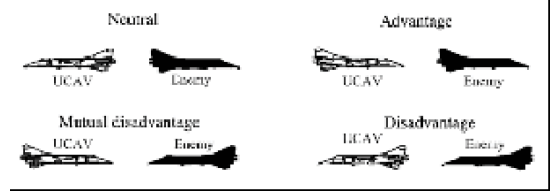
İnsan faktörünün aktif rol aldığı savaş muharebelerinde manevra seçimi pilotun kararına bağlıdır. Pilot aldığı eğitime ve tecrübelerine dayanarak düşman uçağın konumuna göre savunma ya da saldırı manevrası yapar. Algoritmadaki manevra seçimi de bir pilotun manevra seçimi gibi herhangi bir durumu avantajlı duruma dönüştürmek üzerinedir. Şekil

5'te hava muharebelerinde iki uçağın birbirlerine göre olası 4 farklı durumu gösterilmiştir [6]. Uçakların birbirlerine göre durumları belirlenirken, bağıl geometrilere bakılmaktadır.



Şekil 4. Manevra Gruplandırması

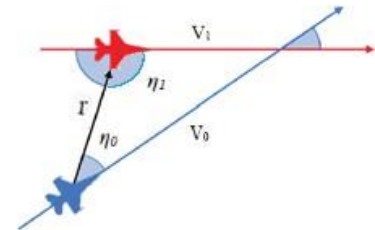
Buradan iki uçağın birbirine göre bağıl konumlarına, bakış ve bağıl duruş açılarına ulaşılır. Bağıl konum bilgisi kullanılarak kırmızı uçak öncelikle saldırı ya da savunma durumunda olduğunu belirler. Yani Şekil 4'e göre merkezdeki kırmızı uçak mavi uçağın kendisine göre konumunu belirler. Görüldüğü üzere mavi uçak üst yarım çember içerisinde ise kırmızı uçak saldırı pozisyonunda, alt yarım çember içerisinde ise savunma pozisyonunda bulunmaktadır. Bu değerlendirmeden sonra konum, duruş ve görüş açıları bilgileri kullanılarak ilgili manevralar aktif hale getirilir. Tanımlanan bir Hedef-ödül (Goal reward) fonksiyonu ile kırmızı uçağın avantajlı durumda olup olmadığı kontrol edilir.



Şekil 5. Hava Savaşında İki Uçağın Birbirine Göre Olası Durumları

A. Bağıl Geometri

Bağıl geometri uçakların birbirine göre bağıl konumlarını ifade etmektedir. Temelde bir uçağın diğerine göre ne kadar avantajlı olduğunu göstermek için tanımlanmıştır. Şekil 6'da iki uçağın birbirine göre bağıl geometrisi gösterilmiştir. Burada η_0 ve η_1 açıları sırasıyla mavi ve kırmızı uçağın bakış açılarını ifade etmektedir ve uçakların bağıl konum vektörü ile hız vektörü arasındaki açıdır. Bağıl konum vektörü r ile gösterilmektedir ve uçaklar arasındaki *Euclid* mesafesi olarak ifade edilir.



Şekil 6. İki Uçak Arasındaki Bağıl Geometrisi

Bu açılar (η_0 ve η_1) kullanılarak uçakların bağıl duruş açısı değerleri de hesaplanmaktadır. Sonuç olarak η_0 açısının düşük olması avantaj kazanmak için gerekli olduğu anlamına gelmektedir. Kırmızı uçak için en avantajlı durum kırmızı uçağın mavi uçağın arkasına geçtiği andır ($\eta_0=0^\circ$ ve $\eta_1=180^\circ$). Açılarının hesaplanması (3)'te gösterilmektedir [7][8].

$$\cos(\eta_0) = -\frac{(dx \cos(\gamma_1) \cos(\chi_1)) + (dy \cos(\gamma_1) \sin(\chi_1)) + (dz \sin(\gamma_1))}{r}$$

$$\cos(\eta_1) = \frac{(dx \cos(\gamma_2) \cos(\chi_2)) + (dy \cos(\gamma_2) \sin(\chi_2)) + (dz \sin(\gamma_2))}{r} \quad (3)$$

Denklem (3)'te hesaplanan $\cos(\eta_0)$ ve $\cos(\eta_1)$ ifadelerinden η_0 ve η_1 değerleri kolaylıkla elde edilir. Buradaki d_x , d_y ve d_z değerleri iki uçak arasındaki üç boyutlu mesafeyi ifade eder. Bununla birlikte δ uçuş yolu açısına, χ ise yalpa açısı değerine karşılık gelmektedir.

B. Hedef-Ödül (Goal-Reward) Fonksiyonu

Hedef-Ödül fonksiyonun amacı üstünlük durumunu belirleyebilmektir. Savunma durumunda olan kırmızı uçağın, saldıran uçağa karşı yaptığı manevra boyunca üstünlük kazanıp kazanmadığını kontrol eder. Fonksiyonun genel yapısı aşağıdaki gibidir. Burada AA bağıl duruş açısını, BA bakış açısını, distance uçaklar arasındaki bağıl mesafeyi temsil etmekte, bu girdilerle öncelikle fonksiyon içerisinde N0 ve N1 değerleri hesaplanmakta ve çıkış olarak da her uçak için hesaplanan Hedef-Ödül değeri gönderilmektedir.

Algoritma 1. Goal Reward Fonksiyonu

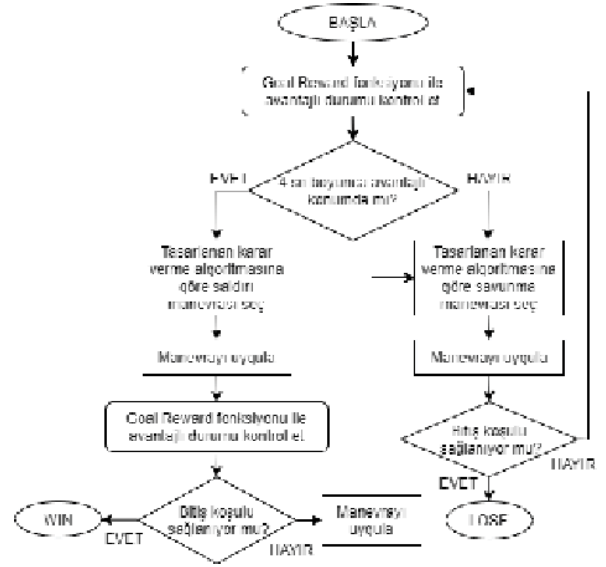
Input: Red_AA, Red_BA, Blue_AA, Blue_BA, distance
if (N0<60 && AA_N0<60 && distance<500)
 goal_reward_fR= 1;
 goal_reward_fB= -1;
elseif (N1<60 && AA_N1<60 && distance<500)
 goal_reward_fR= -1;
 goal_reward_fB= 1;
else
 goal_reward_fR= 0;
 goal_reward_fB= 0;
end if
Output: goal_reward_fR, goal_reward_fB

Bu Hedef-Ödül fonksiyonunun çalışmasına örnek verilirse; kırmızı uçağın savunma durumunda yaptığı manevra sonucunda mavi uçağın görünüş açısı ve duruş açısı değerleri 60° 'den büyük ve iki uçak arasındaki uzaklık 500 metreden küçük olursa kırmızı uçağın saldırı durumuna geçtiğini ve mavi uçağın avantajını kaybettiğini sonucuna varılır. Fonksiyonda 1 avantajı, -1 dezavantajı, 0 ise nötr durumu belirtmektedir [9].

C. Algoritma Tasarımı

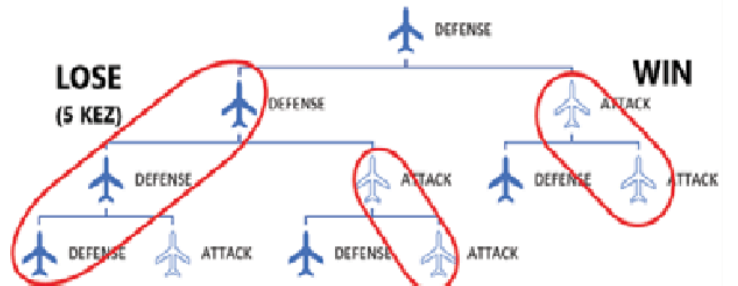
Benzetim çalışması başlangıcında kırmızı uçak savunma durumunda kabul edilir. Bu sebeple başlangıç manevrası için savunma manevralarından herhangi biri seçilerek mücadeleye başlanılır. Şekil 7'de verilen akış şeması referans alındığında, manevra gerçekleşirken Hedef-Ödül fonksiyonu her t anında çağrılarak uçağın avantajlı durumda olup olmadığını kontrol eder. Uçağın avantajlı durumda olması üst üste 4 saniye boyunca devam ederse kırmızı uçak için Hedef-Ödül fonksiyonu 1 değerini gönderir. Burada Şekil 8'de yer alan görselde ifade edildiği gibi 2 durum söz konusudur:

- Uçak avantajlı durumda ise manevra yarıda kesilir ve saldırı durumuna geçilir. Yeni manevra seçimi de saldırı manevralarından yapar. Manevra sonlandıktan sonra tekrar Goal Reward fonksiyonu çağırılır. Uçak avantajlı durumunu korumuşsa, mücadele kazanılmış olur (WIN) ve benzetim sonlanır.
- Uçak manevra süresince avantaj elde edememiş ise, yeni bir savunma manevrası seçer. Eğer 5 kez üst üste seçimini savunma manevralarından yaparsa, uçağımız mücadeleyi kaybeder (LOSE) ve benzetim sonlanır.



Şekil 7. Algoritma Akış Şeması

Çalışmada tasarlanan algoritma kırmızı uçak için koşuturulmaktadır ve buna karşın mavi uçakta [1]'de verilen Bulanık mantık temelli bir algoritma çalışmaktadır. Kırmızı uçağın saldırı durumuna geçmesi ve benzetim muharebesini kazanarak tamamlaması çalışmanın temel hedefidir. Bu sebeple belirli periyotlarla bir uçağın saldırı durumuna geçip geçmediği kontrol edilir ve uçak eğer bu süre boyunca hiç saldırı durumuna geçemediyse savunma manevrası yarıda kesilerek, yeni bir manevra seçimi olur. Mücadele boyunca uçağın en az bir kere de olsa saldırı durumuna geçmesi sağlanmaya çalışılır.

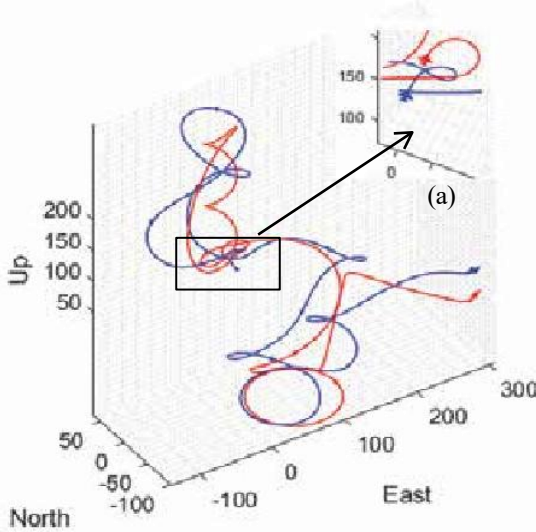


Şekil 8. Algoritma Koşul Ağacı

TABLO II. MANEVRALARIN NUMARALANDIRILMASI

Başlangıç Manevrası	Seçilen Manevra	Mücadele Süresi	Sonuç
Barrel Roll	1,12,4,5,9,13	98.780	✓
Climb	3,12,4,5,9,1,14	114.920	-
Defensive Spiral	4,1,13,3,8,4,3,8,4,10,14,4,7,5,12,4,5,6,13,5,14,3,12,4,11,3,8,4,7,3,8,4,5,9,6,13	625.560	✓
Vertical Spiral	5,8,4,9,6,13	114.080	✓
Horizontal Loop	6,8,1,8,4,3,1,14	112.940	-
Vertical Loop	7,13,3,14,10,14,10,7	89.940	-
Split S	9,13,3,8,4,10,9,3,12,4,10,5,3,9	223.280	-
Left Break	10,14,3,10,11,3,1	74.320	
Right Break	11,13,5,14,3,1,13,5,3,1,13	195.320	✓

Algoritma başarısı test edilirken, tüm manevralar başlangıç manevrası olarak verilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Sonuç olarak bu algoritma için 9 savunma manevrasından sadece Barrel Roll, Defensive Spiral, Vertical Spiral ve Right Break manevraları ile başladığında kırmızı uçak mücadeleyi kazanmıştır. Başlangıç manevrasına göre mücadele süreleri ve sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 9. 3D Hava Muharebesi Simülasyon Çıktısı, (a) Uçakların Başlangıç Pozisyonları

Bu bilgiler ışığında yapılan örnek benzetim çalışmasında başlangıcında mavi uçak, kırmızı uçağın tam arkasında ve 25 metre gerisinde seçilmiştir. Her iki uçak için de başlangıç yüksekliği 120 metre olarak ayarlanmıştır. Bu başlangıç koşulları sonucunda oluşturulan benzetim muharebesinin görsel çıktısı Şekil 9'da verilmiştir. Burada Vertical Spiral ile başlanan hava muharebesi görselinde kırmızı uçak sırasıyla Immelman, Defensive Spiral, Split S, Horizontal Loop ve son olarak High Yo Yo manevrası yaparak mücadeleyi kazanmıştır.

Benzetim modelinde tasarlanan algoritma 100 kez art arda çalıştırılarak uçaklar bire bir karşılaştırılmıştır. Her bir çalıştırma için başlangıç manevrası rastgele olarak seçilmiş ve bunun

sonucunda kırmızı uçak 52 kez savaşı kazanmış, 48 kez yenilmiştir. Böylece, algoritmanın başarı oranı %52 olarak belirlenmiştir.

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında birebir hava muharebesi için kural tabanlı bir algoritma geliştirilerek algoritmanın başarımı oluşturulan benzetim ortamı yardımıyla test edilmiştir. Saldıran ve savaşıyan uçakların dinamiklerinin aynı olduğu kabulü altında doğrusal olmayan nokta-kütle modelleri kullanılmıştır. Kural tabanlı algoritma sonucunda manevralar oluşturulan temel manevra kütüphanesinden seçilmiştir. Kural tabanlı yapının koşulları (if-else-if yapısı) uçakların geometrik ilişkileri kullanılarak tanımlanmıştır. Sonuçta algoritmanın başarı oranı %52 olduğu elde edilmiştir. Bir sonraki çalışmalar için şu durumlar dikkate alınarak algoritmanın başarımının artırılması hedeflenmektedir. Rakip uçağın bir sonraki hamlesini öngören algoritmalar sisteme eklenerek kırmızı uçak yapacağı manevraya karar verirken, mavi uçağın şu anki konumuyla birlikte öngördüğü bir sonraki adımını da göz önüne alabilir. Algoritmada kural tabanlı yöntem yerine makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak daha verimli karar verme mekanizması oluşturulabilir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Ankara Üniversitesi-TUSAŞ LiftUp Projesi 2020-2021 kapsamında desteklenmiş ve geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] İşci, H., "A Fuzzy Logic Based Real-Time Air-to-Air Attack Algorithm for Unmanned Combat Air Vehicles", 2019.
- [2] Flight Operations, Cashman, J. E., 2000. Erişim Tarihi: 04.06.2021 https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_12/attack_story.html
- [3] Shaw, R. L., "Fighter Combat Tactics and Maneuvering, Naval Institute Press, 1985.
- [4] Air Combat Maneuvering (ACM) Erişim Tarihi: 20-Mayıs-2021 [https://warthunder.fandom.com/wiki/Air_Combat_Maneuvering\(ACM\)](https://warthunder.fandom.com/wiki/Air_Combat_Maneuvering(ACM))
- [5] Akdağ, R., "Evaluation of Fighter Evasive Maneuvers Against Proportional Navigation Missiles", 2015.
- [6] Wang, Y., Huang, C. and Tang, C., "Research on unmanned combat aerial vehicle robust maneuvering decision under incomplete target information", *Advances in Mechanical Engineering*, 2016.
- [7] Karlı, M., "Air Combat Implementation Using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System", 2018.
- [8] Karlı, M., Efe M.Ö., and Sever H., "Close Range One to One Air Combat Maneuvering for Autonomous UAV", *8th Ankara International Aerospace Conference*, 2015.
- [9] Burgin, G. H. and Sidor, L. B., "Rule-Based Air Combat Simulation", *NASA Contractor Report 4160*, California, 1988.
- [10] Park, H., Lee B., Tahk, M. and Yoo, D., "Differential Game Based Air Combat Maneuver Generation Using Scoring Function Matrix", *Int'l J. of Aeronautical & Space Sci.*, Korea, 2016.
- [11] Kong W., Zhou D., Yang Z. Zhang K. Zeng L., "Maneuver Strategy Generation of UCAV for within Visual Range Air Combat Based on Multi-Agent Reinforcement Learning and Target Position Prediction", *Applied Sciences*, China, 2020.

Uçak Modifikasyon-Modernizasyon Projelerinde Artırılmış Gerçeklik Kullanımı Using Augmented Reality In Aircraft Modification- Modernization Projects

Elif Kuzucu
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
elifkuzucu@gmail.com

Türkü Gül Doğan
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
turkydg@gmail.com

Erkan Gök
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
erkangok1993@hotmail.com

Mert Çelikcan
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
mertcelikcan1@gmail.com

Tuğçe Nur Şahin
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
tuğce.n.sahin@gmail.com

Gazi Erkan Bostancı
Ankara Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
ebostancii@ankara.edu.tr

Aydemir Küçük
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay
Sanayii A.Ş.
Ankara, Türkiye
aykucuk@tai.com.tr

Özetçe—Bu makalede, Türk Havacılık ve Uzay Sanayii LIFT UP Sanayi Odaklı Bitirme Projeleri Programı kapsamında yürütülen, Uçak Modifikasyon-Modernizasyon Projelerinde Artırılmış Gerçeklik Kullanımı çalışması hakkında bilgiler yer almaktadır. Çalışmanın amacı ve hakkındaki literatür taramaları, yapım aşamaları ve kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Çalışma, Ankara Üniversitesi öğrencileri tarafından, TUSAŞ mentorleri danışmanlığında yürütülmektedir.

Anahtar Kelimeler —*artırılmış gerçeklik, model tabanlı izleme, işaretçi tabanlı izleme, unity.*

Abstract—In this article, there is information about the use of Augmented Reality in Aircraft Modification-Modernization Projects carried out within the scope of the Turkish Aerospace Industries LIFT UP Industry Focused Graduation Projects Program. The aim of the study and the literature review, construction stages and methods used are explained. The study is carried out by Ankara University students under the consultancy of TUSAŞ mentors.

Keywords—*augmented reality, model-based tracking, marker based tracking, unity.*

I. GİRİŞ

Son yıllarda, teknolojinin gelişmesiyle birlikte en çok dikkat çeken konulardan biri de Artırılmış Gerçeklik teknolojisi. Artırılmış gerçeklik (Augmented reality; AR), gerçek dünyadaki çevrenin ve içindekilerin, bilgisayar tarafından üretilen; ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirilerek meydana getirilen canlı veya dolaylı fiziksel görünümüdür.[2] Günümüzde pazarlama, reklamcılık, sağlık,

eğitim, oyun ve mimarlık gibi alanlarda artırılmış gerçeklik teknolojilerinden yararlanılmaktadır.

Uçak modifikasyon ve modernizasyon aşamalarında, kullanılacak araçların uygunluğu için bazı denemeler yapılmaktadır. Bu denemelerde parçaların temin edilmesi, monte edilmesi veya var olan bir parçanın çıkarılması bazı durumlarda çok maliyetli ve zor olabilmektedir. Modifikasyon ve modernizasyon işleminin karar aşamasında, gerçek parçalar kullanılmadan, artırılmış gerçeklik teknolojisi yardımıyla yapılacak olan denemeler, maliyeti ve harcanacak eforu minimuma indirecektir. Bu nedenle bu çalışmada farklı uçaklar için, modifikasyon ve modernizasyon süreçlerinde kullanılmak üzere artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirmek hedeflenmiştir.

Makalede, bu hedefler doğrultusunda yapılan literatür çalışmaları, çalışmalardan edinilen bilgi ile geliştirilen uygulamalar, kullanılan teknolojiler ve uygulamaların sonuçları ayrıntılı biçimde anlatılmıştır.

II. LİTERATÜR TARAMASI

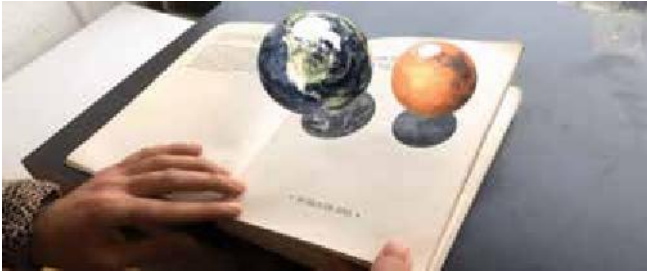
Artırılmış gerçeklik ortamını oluşturmak için gerekli birkaç temel unsur bulunmaktadır. Bu unsurlar, takip (tracking), görüntüleme (display), çakıştırma (registration) ve ayarlama (calibration) mekanizmalarıdır. Bu unsurların en önemlisi takip (tracking) mekanizmasıdır. Takip mekanizması, görüntülemenin yapılabilmesi için bir referans nesnesinin tanınması ve bu nesnenin konumunun hesaplanmasıdır. Bu

mekanizmadaki küçük bir hata bile ciddi yanlışlıklar doğuracağından, görüntülemenin iyi yapılması için en uygun takip yöntemi seçilmelidir.

Artırılmış gerçeklikte takip(tracking) yöntemleri İşaret Tabanlı (Marker-Based) ve Model Tabanlı (Model-Based) olmak üzere ikiye ayrılır.

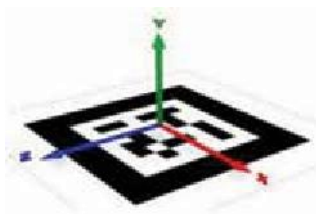
A. İşaretçi Tabanlı İzleme Yöntemi (Marker-Based Tracking)

İşaretçi tabanlı takip (marker-based tracking) yöntemi, karşılaştırma işlemini başarılı bir şekilde yapabilmesinin yanı sıra düşük maliyeti ve kolay kullanımı ile en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir. Günümüzde birçok eğitim, oyun projesi, müze eserlerinin gösterimi, emlak projesi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin bir evin dekorasyonuna karar veremediğinde bu takip yöntemi oldukça faydalı olacaktır. İşaretçiler ile belirecek eşyalar ile dekorasyona bir eşya bile kaldırmadan karar verilebilecektir. En çok kullanıldığı alanlardan biri olan eğitimin örneği ise aşağıda yer almaktadır.



Şekil 1. İşaretçi Tabanlı Artırılmış Gerçekliğin Eğitimde Kullanımı[3]

İşaretçi tabanlı takip sistemlerinde ana fikir, takip amacıyla 'fiducial' adı verilen işaretçilerin kullanılmasıdır. Geçici(template), anlamsız(imperceptible) ve 2B karekod(2D Barcode) işaretçileri olarak temelde üç çeşit işaretçi tipi bulunur. İşaretçilerin temel özellikleri sahip oldukları şekil ve içlerinde bulunan desendir. İşaretçiler yardımıyla koordinat sistemini oluşturan x, y ve z eksenleri elde edilmektedir(Örnek Şekil 2'de bulunmaktadır). Böylece bilgisayara fiziksel dünyada bulunan işaretçinin konum bilgisini vermek mümkün olmaktadır. [4]



Şekil 2. İşaretçi ve Eksenleri[5]

İşaretçi tabanlı sistemlerin algoritma çalışma düzeni:

1. Alınan görüntüyü bölgelere böler.
2. Bölgedeki kenarları tespit eder.
3. Bölgedeki segmentleri bulur.
4. Segmentleri kenarlar ile birleştirir.
5. Kenarları köşelere uzatır.
6. Kenarları köşelerde tutar.
7. İşaretçiyi bulur.



Şekil 3. İşaretçi Bulma Algoritmasının Çalışma Mekanizması [6]

İşaretçiler bir barkod veya bir fotoğraf görüntüsü olabilir. Bu verileri algılamak için oldukça iyi görüntü işleme algoritması gerekecektir. 2D Karekodlar yalnız kare değil aynı zamanda yuvarlak, üçgen gibi çeşitlerde bulunmaktadır. Bu nesneler için sürekli gelişen artırılmış gerçeklik işaretçilerine uygun algoritmalar üretilmelidir. Bu durum zamanla maliyetli hale gelecektir.

İşaretçileri bunlar ile sınırlamak doğru olmaz. İşaretçi olarak referans alınabilecek başka bir özellik lokasyondur. Bu teknik konum bilgilerini GPS, RFID gibi gerçek zamanlı konum tespiti sistemlerinden (Real Time Location Systems – RTLS) alır. Örneğin, müzeyi hedefleyen işaretçi müze konumuna gelindiğinde otomatik olarak uygulamayı çalıştıracaktır. Bu işaretçi türüne verilebilecek en uygun örneklerden biri olan önceden oldukça popüler olan Pokemon GO oyunudur.

Son olarak bahsedilecek olan işaretçi türü sestir (Sound markers). Belirli komutlar ile çalışan bu uygulama cihazın bulunduğu ortamdan sesi almaktadır. Gelen sese göre ekranda istenilen nesne ya da cevap dönecektir. Mesela 'Neredeyim?' denilirse ekrana bulunan konum dönecektir. Ya da cismin adını söylenildiğinde ekranda o cisim hareket edecektir. [7]

İşaretçi tabanlı takip sistemleri kolay olmasıyla bilinse de bir çok eksi yönü vardır. Sabit sistemler için uygun olabilir ancak uygulanan sistemde hareket varsa bu takip sistemi uygun olmaz. Çünkü işaretçiden uzaklaşıldığında tarama gerçekleşmez ve uygulama çalışmaz. İşaretçinin kısmi olarak kapatılması durumlarında, ışığın yetersiz olduğu ortamlarda, görüntüde gürültünün ve bulanıklığın olduğu durumlarda işaretçilerin tespit edilebilmesi için görüntü işleme algoritması güçlü olmalıdır. Bir diğer zorluğu ise takip sistemine okutmak için sürekli yanınızda işaretçi bulunmak zorundadır. Gerçek zamanlı uygulamalarda artık böyle zorluklara gerek yoktur. [8]

Yapılacak uygulama TUSAŞ'da deneneceği için bu ihtimaller göz önüne alınmış bu nedenle işaretçi tabanlı takip sistemi seçilmesi uygun görülmüştür.

B. Model Tabanlı İzleme(Model-Based Tracking)

Artırılmış gerçeklikte takip(tracking) yöntemlerinden biri de model based (markerless) tracking yöntemidir. Model tabanlı izleme yönteminde, referans markerlar yerine doğal özellikler

kullanır. Bu nedenle, gerçekten dünyanın bir parçası olmayan ortama müdahaleci markerlar yoktur. Bunun yerine, gerçekliğin zenginleştirilmesi için pencere köşesi, kitap kapağı, uydu görüntüsü gibi gerçek dünyada bulunan doğal hedefler kullanılmaktadır. Bu yüzden doğal özelliklerin referans alındığı takip (natural feature based tracking) yöntemi olarak da bilinmektedir.

Markerless AR, dijital verileri fiziksel bir alana kayıtlı gerçek zamanlı, gerçek dünya girişlerinden gelen girdilerle birleştirir. Teknoloji, gerçek dünyada 3D grafikleri kaydetmek için yazılım, ses ve video grafiklerini bir akıllı telefonun veya kulaklığın kameraları, jiroskopu, ivmeölçeri, haptik sensörleri ve konum hizmetleriyle birleştirir.

Markerless AR, duvarlar veya kesişme noktaları gibi çevre hakkında önceden bilgi sahibi olmadan nesneleri veya bir sahnenin karakteristik noktalarını algılar. Teknoloji genellikle bilgisayar grafiklerini gerçek dünya görüntüleriyle birleştiren görsel efektlerle ilişkilendirilir.



Şekil. 4. Markerless(Model-Based) Tracking Uygulamaları [9]

İlk işaretli sistemler, mevcut AR kaynaklarıyla etkileşim kurmak ve uzaydaki konumunu ve yönünü tanımlamak için bir cihazın konum hizmetlerini ve donanımını kullandı.

Eşzamanlı yerleştirme ve haritalama teknolojisinin (SLAM) geliştirilmesi, işaretleyicisiz AR görüntü analizinin doğruluğunu artırdı. SLAM işaretli görüntü izleme, ortamı tarar ve sanal 3D nesnelerin nereye yerleştirileceğinin haritalarını oluşturur. Nesneler kullanıcının görüş alanı içinde olmasa bile, kullanıcı hareket ettiğinde hareket etmez ve kullanıcının yeni görüntüler taraması gerekmez.

RGB-D SLAM kullanan markersiz AR sistemleri ve sensör füzyon yaklaşımları, spektrumun diğer ucundadır. Microsoft HoloLens en dikkate değer örnektir. Bu sistemler, uygulamayı kullanırken kullanıcının çevresinin 3 boyutlu bir haritasını oluşturmak için standart, kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) kameralardan gelen bilgileri son teknoloji kızılötesi uçuş süresi kameralarıyla entegre eder. Bu özellik, SLAM izleme paradigmasının kritik bir bileşenidir, çünkü bu cihazlarda çalışan uygulamaların sanal içeriği alana somut bir şekilde yerleştirmesine olanak tanır.[10]

Model tabanlı teknikler tracking yöntemleri göz önüne alındığında iki kategoride sınıflandırılabilir: Recursive Tracking(Özyinelemeli İzleme) ve Tracking By Detection(Tespit ile İzleme).

C. Özyinelemeli İzleme(Recursive Tracking)

Özyinelemeli izleme(Recursive tracking) bir önceki kamera pozunun, bir sonraki kamera pozunun hesaplanması için kullanılması yöntemidir. Böylece işlem yükü azaltılmaktadır.

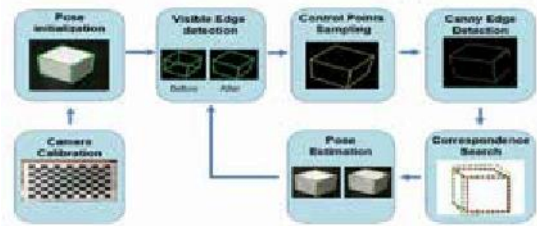
Özyinelemeli izleme (Recursive tracking) teknikleri kendi içinde edge based(kenar tabanlı), optical flow based(optik akış tabanlı) ve texture based(doku tabanlı) olmak üzere üçe ayrılır.

Edge based recursive tracking ,bazı kontrol noktalarını 3D wireframe modelinin kenarları üzerinden örnekleyen ve görüntüde bulunan kenarlar ile eşleştiren bir yöntemdir.Kenar tabanlı izleme yöntemleri, kenarların belirgin olup olmadığına bağlı olarak temel olarak iki kategoriye ayrılabilir.[9]

Belirgin kenarları olmayan yöntemler, yüzeyinde bulunan 3D kenarlar boyunca düzenli olarak örneklenen kontrol noktalarının projeksiyonları olan nesnenin CAD modelini aday kenarlar olarak alır. Bu yöntemler daha az hesaplama çabası gerektirir.

Belirgin kenarlı yöntemler, düz çizgi segmentler, konturlar, daireler ve köşeler gibi belirgin kenarları ayıklar.

Bu yöntemler ayıklanan kenarlar ve 3D model kenarları arasında ilişki kurmaya çalışır.



Şekil. 5. Edge Based Tracking [11]

Optical flow based tracking, bir nesneyi izlemek için nesne ile kamera arasındaki göreceli hareketin neden olduğu ardışık kareleri kullanır.

Optik akış, verimli nesnelerin hareketini izleme yaklaşımlarından biridir.Optik akış nesnelerin farklı çerçevedeki göreceli hareketini inceler nesnelerin hareket hızına dayalı diziler oluşturur. Optik akış teknikleri seyrek optik akış ve yoğun optik akış teknikleri olmak üzere ikiye ayrılır.. Seyrek optik akış teknikleri, ilgi çekici önemli bir alt kümeyi seçer.

İncelenen nesnelerin köşeler, kenarlar gibi özellikleri ve bu seçkin özellikler kümesine bağlı olarak izleme gerçekleştirir.. Bazı seyrek optik akış örnekleri Lucas-Kanade yöntemi, Horn-Schunck yöntemi, Buxton-Buxton yöntemi vb. olarak verilebilir.

Yoğun optik akış, bir video karesinde bulunan her piksel için optik akışı hesaplamaya odaklanmıştır. Farneback optik akış yöntemi, yoğun optik akışın tipik bir örneğidir.[12]



Şekil 6. Optical Flow Tracking [13]

Texture based recursive tracking,kendi içinde template matching ve interest point based olmak üzere ikiye ayrılır.Template matching(şablon eşleştirme), bir görüntünün konumunu daha büyük bir görüntüde aramak ve bulmak için kullanılan bir yöntemdir.Interest point based (ilgi noktasına dayalı) yöntem ise kamera poz tahminlerindeki yerleştirilmiş özellikleri değerlendirir. [14]

D. Tespit ile İzleme(Tracking by Detection)

Tespit ile izleme(tracking by detection), özyinelemeli izlemenin aksine kamera pozunu hesaplamak için bir önceki kamera pozundan faydalanmaz. Kamera pozu hesaplanırken bir önceki pozdan faydalanılmadığı için daha fazla işlem yükü gerektirmektedir. Ayrıca bu işlem oldukça hassastır çünkü kamera pozundaki herhangi bir eksiklik, bir önceki poz kullanılmadığından nesnenin tespit edilmesini zorlaştırabilir Bu işlemin avantajlarına gelinilecek olursa , her pozun sıfırdan hesaplanması, tespitin doğruluğunu ve izlemenin sağlamlığını arttırmaktadır.. Çalışmada kullanılmak üzere bu methodun seçilmesinin sebebi ise bu avantajlardır. Ayrıca bahsedilen fazladan işlem yükü, günümüz sistemleri için büyük bir zorluk oluşturmamaktadır. Tespit ile izleme metotunda iki farklı yöntem kullanılır. Bunlardan ilki kenar tabanlı(edge based) izleme yöntemidir. Kenar tabanlı izleme, bazı kontrol noktalarını 3D wireframe modelinin kenarları üzerinden örnekleyen ve görüntüde bulunan kenarlar ile eşleştiren bir yöntemdir. Bu yöntem görüntü tabanlı(view based) işlemlerden oluşur bu nedenle kısıtlı bir poz aralığı içerir. Bir diğer yöntem ise doku tabanlı(texture based) izleme yöntemidir. Basitçe takip edilecek dokunun kamera pozu içinde aranması yöntemidir. Bu yöntemde anahtar nokta tabanlı(keypoint based) işlemler kullanılır. Bu işlemin kullanılması için öncesinde takip edilecek nesne ile ilgili bir eğitim aşamasına ihtiyaç duyulur. 3D nesnenin özellikleri, 2D bir şekilde 3D nesnedeki konumları ile birlikte kaydedilmelidir. Çalışma anında ise kaydedilmiş 2D özellikler kendilerinin bir parçası olduğu 3D nesneyi tespit etmeye çalışır .

III. UYGULAMA

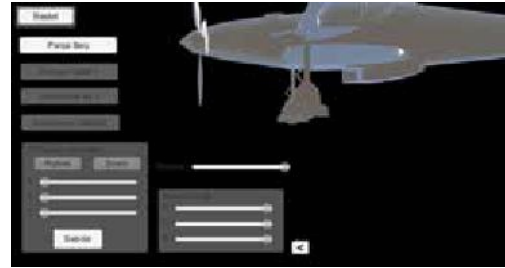
Proje kapsamında modernizasyon ve modifikasyon çalışmalarıyla ilgili materyal araştırması yazılı ve görsel kaynaklar ile desteklenerek belirli bir çerçeve içerisinde yapıldı. Yapılan araştırmalar sonucunda, işaretçi tabanlı ve model tabanlı takip sistemleri hakkında bilgi toplandı, bu çalışmada model tabanlı takip sisteminin kullanılmasına karar verilerek uygulama aşamasına geçildi. Çalışma kapsamında gerçekleştirilecek uygulama Unity platformu kullanılarak geliştirildi. Ayrıca, uygulama üzerinde model tabanlı takip

yöntemi için VisionLib kütüphanesi kullanıldı. Uygulama kapsamında ilk olarak demo niteliğinde 3 boyutlu geometrik cisimler yerleştirilerek gerçek dünyadaki bir nesneyi takip etmesi sağlandı. Takip işlemi gerçekleştirildikten sonra 3 boyutlu geometrik şekillerle wireframe, kaplama(texture) ve renk değişimi gibi kullanıcı etkileşimine girebilecek dinamik bir arayüz geliştirildi.Bu özelliklerin yanı sıra, model takibi için oluşturulmuş 3 boyutlu geometrik cisimleri x, y, z düzlemlerinde döndürme ve ölçeklendirme işlemlerini kullanıcı etkileşimine bağlı olarak gerçekleştirecek bir arayüz oluşturuldu.



Şekil 7. Demo Görselleri

İlk dönem çalışmalarında üç boyutlu geometrik cisimlerin takip işlemi gerçekleştirdikten sonra ikinci dönem çalışmaları örnek bir uçak modeli üzerinde gerçekleştirildi. Kullanılan uçak modeli 28 ayrı parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar pervane,gövde,iniş takımı ve kokpit olmak üzere 4 ana bölümde toplandı. Bu bölümler üzerinde renk değişimi,döndürme,ölçeklendirme,wireframe ve kaplama değişimi, saydamlık/opaklık ayarı, parça görünürlüğü gibi modifikasyon işlemleri yapan bir arayüz geliştirildi. Sonrasında bu işlemlerin daha etkili gerçekleştirilmesini sağlamak için arayüze bir sabitleme butonu eklendi.



Şekil 8. Uygulama Arayüzü

Arayüzde belirtilen özelliklerin uygulanabilmesi parça seç butonu ile sağlandı. Üstünde işlem yapılmak istenen parça seçildikten sonra, ilgili butonlardan modifikasyon ve modernizasyon işlemleri gerçekleştirilebilir.



Şekil 9. Opaklık/Saydamlık



Şekil. 10. Wireframe Görşeli



Şekil. 11. Parça Gizleme Görşeli(Kokpit)



Şekil. 12. Kaplama Görşeli



Şekil. 13. RGB ile Renk Değişimi

IV. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında araştırma ve uygulama geliştirme aşamaları ile birlikte problem çözme, hata ayıklama, arayüz tasarımı ve model tabanlı takip yöntemleri konusunda bilgi ve birikim kazanıldı. Literatür araştırmalarından elde edilen konsept bilgiler sayesinde uygulama aşaması için genel bir çerçeve oluşturuldu. Uygulama ile birlikte Unity ortamı ve arayüz araçları kullanım metodları öğrenildi. Ayrıca model tabanlı takip yöntemini uygulamak amacı ile kullanılan VisionLib kütüphanesi ile birlikte artırılmış gerçeklik konusunda deneyim kazanıldı. Makale boyunca kullanılan teknolojiler araştırmalar ve kaynakları detaylı bir şekilde anlatılmaya çalışıldı. Gelecekte çalışmanın ilerletilmesi ve iyileştirmesi açısından, projenin devamı niteliğinde mevcut

özelliklere ek olarak arayüze modellerin dinamik olarak yüklenebilmesi gibi yeni özellikler eklenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Doç. Dr. Gazi Erkan BOSTANCI, User Tracking Methods for Augmented Reality Applications in Cultural Heritage, University of Essex, UK, 2013
- [2] Wikipedia, "Artırılmış Gerçeklik", https://tr.wikipedia.org/wiki/Artırılmış_gerçeklik 2021
- [3] Artırılmış Gerçekliğin Eğitime Katkısı, <https://rgbkod.com/blog/tag/artirilmis-gercekligin-egitime-katkisi/>, 2019
- [4] Muhammet Fatih AKBAŞ, Cengiz GÜNGÖR, "Artırılmış Gerçeklikte İşareti Tabanlı Takip Sistemleri Üzerine Bir Literatür Çalışması ve Tasarlanan Çok Katmanlı İşareti Modeli", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi İzmir, 2017.
- [5] Arshiya Sayyed Seminar Guide Prof. Sushila Shelke, MARKER DETECTION ALGORITHM FOR AUGMENTED REALITY APPLICATIONS FOR SCIENCE TEXTBOOKS, 2016
- [6] Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Ve Teknikleri, <https://www.otonomfabrika.com/artirilmis-gerceklik-ag-nedir/>, Türkiye, 21.09.2020
- [7] Gatis Zvejnieks, "Marker-based vs markerless augmented reality: pros, cons & examples", <https://overlyapp.com/blog/marker-based-vs-markerless-augmented-reality-pros-cons-examples/>, 18.10. 2019
- [8] ABMarket, "Endüstride AR Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları", <https://abmarketotomasyon.com/endustride-ar-artirilmis-gerceklik-uygulamalari/>, 30 Mart 2021
- [9] Sonia Schechter, "The Ultimate Guide to Markerless Augmented Reality", MAXTENT 3D COMMERCIALS, 2014.
- [10] Pengfei HAN1, Gang ZHAO2, "A review of edge-based 3D tracking of rigid objects", Çin, 2019.
- [11] Abhilash Sunder Raj, Michael Lowney, "Model Based Tracking for Augmented Reality on Mobile Devices", Department of Electrical Engineering, Stanford University, 2016
- [12] A. Balasundaram, S. Ashok Kumar, S. Magesh Kumar, "Optical Flow Based Object Movement Tracking", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-9 Issue-1, October 2019.
- [13] OpenCV, "Optical-Flow", https://docs.opencv.org/3.4/d4/dee/tutorial_optical_flow.html, Thu Jun 10 2021, 06:57:23
- [14] A Sanna, F Manuri, "A survey on applications of augmented reality." Advances in Computer Science: an International Journal 5.1, 18-27, 2016
- [15] B. Parhizkar, A. A. M. Al-Modwahi, A. H. Lashkari, M. M. Bartaripou, H. R. Babae, "A Survey on Web-based AR Applications", IJCSI International Journal of Computer Science Issues, 1694- 0814, Vol. 8, Issue 4, July 2011
- [16] Joao Paulo Silva do Monte Lima, Francisco Paulo Magalhaes Simoes, Lucas Silva Figueiredo, Judith Kelner, "Model Based Markerless 3D Tracking applied to Augmented Reality", Recife/PE, Brazil, SBC Journal on 3D Interactive Systems, volume 1, 2010
- [17] A Katiyar, K Kalra, C Garg, "Marker Based Augmented Reality.", Advances in Computer Science and Information Technology (ACSIT), Volume 2, Number 5, pp. 441-445, April-June, 2015.
- [18] D. V. Krevelen ve R. Poelman. "Augmented Reality: Technologies, Applications, and Limitations.", 2007.
- [19] H. H. Çetinkaya, M. Akçay, "Eğitim Ortamlarında Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları", Akademik Bilişim 2013 Konferansı, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 1031-1035, 23-25 Ocak 2013.
- [20] K. Pentenrieder, Katharina ve ark., "Augmented Reality-based factory planning-an application tailored to industrial needs." Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium on. IEEE, 2007

Döner Kanatlı Özgün Bir İHA Tasarımı ve Uçuş Kontrol Kartının Yerli Yazılım ile Optimizasyonu

Optimization of Indigenous Designed Flight Control Card to UAV with Indigenous Software

Anıl Cönger
Ankara Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
Ankara, Türkiye
anilconger@gmail.com

Hüsamettin Eken
Ankara Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
Ankara, Türkiye
husamettinece@gmail.com

Avni Arda Altaşı
Ankara Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
Ankara, Türkiye
altasiarda@gmail.com

Oğuz Aslan
Ankara Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
Ankara, Türkiye
aslanoguz97@gmail.com

Gökhan Genç
Ankara Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
Ankara, Türkiye
gokhangenc1010@gmail.com

Sultan Can
Ankara Üniversitesi
Elektrik Elektronik Müh.
Ankara, Türkiye
sultannann@gmail.com

Tolga İnal
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Ankara, Türkiye
tinal@tai.com.tr

Özetçe—Bu çalışmada 4 rotorlu döner kanatlı bir İnsansız Hava Aracı (İHA) tasarlanmıştır. Gövdesi karbon fiberden kare şeklinde iki plakadan, kolları ise alüminyum kare profilden yapılmıştır. X-tipi bir İHA olan tasarımın ağırlığı toplamda görev mekanizması hariç 1300 gr, görev mekanizması dâhil 1700 gr ve 300 gr su ile görev sırasında maksimum 2000 gr olacak şekilde optimize edilmiştir. Yaklaşık boyut motordan motora 50cm olup tasarıma ait uçuş kontrol kartı, özgün yazılımı ve yer kontrol yazılımı takım tarafından gerçekleştirilmiş, acil durumda elektrik aksamının kapatılması için önlemler alınmıştır.

Anahtar Kelimeler — İHA, motor, uçuş kontrol kartı, özgün yazılım.

Abstract—In this study, a small 4-rotor X-wing UAV is designed. Its body is made of two square plates of carbon fiber, and its arms are made of aluminum square profiles. The weight of the design, which is an X-type UAV, is optimized to be 1300 gr excluding the mission mechanism, 1700 gr including the mission mechanism, and it will weight 2000 gr at maximum during the mission with 300 gr water. The approximate size is 50 cm from motor to motor, and the flight control card, indigenous software and ground control software of the design were developed by the team, and measures were taken to shut down the electrical components in case of emergency.

Keywords — UAV, motor, flight controller, indigenous software.

I. GİRİŞ

Günümüzde petrol ve gaz endüstrisinden [1], rüzgâr türbini muayene ve kontrolüne, tarımdan arama-kurtarma ve yangın söndürme uygulamalarına [2],[3], hava fotoğrafçılığından,

kargo ve haritacılığa[4] kadar gerek sivil gerek askeri [5]-[9]uygulamalarda insanın operasyona dâhil olmadığı araç ve ekipmanlara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu ihtiyaç dâhilinde insansız hava araçları da oldukça ilgi görmekte birçok görevle zaman ve maliyet tasarrufu sağlaması bakımından yoğun ilgi görmektedir. İHA'ların askeri, sivil (hobi ve ticari) ve bilimsel amaçlı profesyonel kullanımları ülkemizde ve tüm dünyada hızla artmaktadır[10]. İnsansız Hava Aracı (İHA); içinde pilotu ve yolcusu olmayan, kullanım amacına uygun ekipmanlardan kamera, fotoğraf makinesi, GNSS (Global Navigation Satellite System), lazer tarama gibi ekipmanları taşıyan, uzaktan kumandalı ve/veya otomatik olarak görevini icra edebilen bir çeşit uçaktır. Gün geçtikçe artan bu ilginin temel nedenleri olarak; sivil uygulamaların çeşitliliğinden, birçok mesleki kullanımlarda yüksek doğruluk, zaman ve maliyet tasarrufu sağlamasına, taktik kritik askeri görevlerde personeli tehlikeye atmadan görev tamamlamasına kadar birçok avantaj sayılabilir. Askeri arenada istihbarat, keşif, saldırı, erken ikaz, hava savunma, kargo taşıma gibi birçok alanda kendine yer bulmaktadır.

Özellikle askeri uygulamalarda yerli tasarımlara duyulan ihtiyaç bu çalışmanın motivasyonudur. Bu motivasyon ile gerçekleştirilen yerli İHA tasarımında kullanmış olduğumuz İHA bileşenlerinin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz. Bileşenlerin en önemlilerinden biri olan uçuş kontrol kartı İHA'nın beyni olarak tanımlayabileceğimiz bir parçasıdır. Bu kontrol kartı jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre sensörlerini içermektedir. Jiroskop sensörü açısal hızı ölçme amaçlı, manyetometre yön bulma amaçlı, ivmeölçer sensörü ise adından

anlaşıldığı üzere ivme ölçme amacıyla kullanılır. Bu sensörlerden alınan bilgilere göre kart, motorların hızını değiştirerek istenilen hareket ve stabilizasyonu sağlar. İHA'da kontrol kartı olarak, güç tasarrufu ve yüksek işlem kabiliyeti gibi özelliklerden dolayı ARM (Acorn RISC Machine) tabanlı bir işlemciye sahip olan geliştirme kartı kullanılmıştır.

Bileşenlerden bir diğer önemli unsur da motor kısmıdır. İHA'nın motor kısmında genel olarak RC (Radio Control) araçlarda yüksek KV (gerilim başına devir sayısı) ve düşük sürtünmeye ihtiyaç olduğundan dolayı fırçasız elektrik motorlar kullanılmıştır. Kullanılan bu fırçasız elektrik motorlarının sürülmesi için bir elektronik hız kontrol kartına (ESC) da ihtiyaç vardır. ESC'ler motorlara ne kadar hızlı dönmesi gerektiğini söyleyen devredir. İHA'yı elle kontrol edebilmek için en az 4 kanallı bir kumandaya ve bu kumanda ile uyumlu çalışan kumanda alıcısına ihtiyacımız vardır. Genellikle kumandalar 2.4GHz frekansında çalışmakta ve anten boyları kısadır. Kumanda ve alıcının dijital haberleşmesi için ilk önce aralarında şifreli eşleşme yapılması gerekir. İHA'nın uçabilmesi için motorlarda yeterli itki kuvvetinin oluşturulması gerekir. Bu kuvvet pervaneler ile sağlanmaktadır. İHA'da kullanılacak olan pervanelerin, motorların isterlerine göre önerilen çap ve yapıda seçilmesi gerekir. İHA'da kullanılan bu elektronik bileşenlere gerekli gücü verebilmek için Li-Po bataryaların kullanılması gerekir. Bu elektronik bileşenlerin toplam elektriksel güç tüketimleri hesaplanarak İHA için uygun kapasiteli batarya seçimi yapılabilir. Diğer bir bileşen ise telemetridir. Telemetri modülü ile İHA'nın uzaktan kablolu ya da kablosuz olarak takip edilmesi sağlanabilir. Son olarak İHA üzerinde kullanılan GPS (Global Positioning System) modülü ise İHA'nın enlem, boylam ve deniz seviyesine göre yükseklik verilerinin bulunmasını sağlamaktadır.

II. İHA'NIN YAPISI

Tasarlanan döner kanatlı İHA, 2 adet 5mm kalınlığında 15x15 cm alüminyum plakadan oluşmaktadır. Bu plakalara bağlanmış 4 adet 1x1x20 cm boyutlarında kare alüminyum profil ise İHA'nın kollarını meydana getirmiştir. Bu dört kolun uçlarına bağlanmış 4 adet Emax-ECO-II-2807-4S 1700KV fırçasız motorlar bulunmaktadır. Motorları kontrol etmek için 4in1 (tümleşik) ESC kullanılmıştır. Gerekli itki sistemini en iyi şekilde ayarlamak amacıyla motorun deneylerinde en iyi sonucu veren 7040 üç bıçaklı pervane kullanılmıştır. İHA'nın teknik çizim şekil 1a'da nihai tasarım ise şekil b'de gösterilmiştir.



Şekil. 1. Tasarlanan İHA'ya Ait Teknik Tasarım



Şekil. 2. Tasarlanan İHA'ya Ait Nihai Tasarım

III. MATEMATİKSEL MODEL

Tasarlanan İHA'nın kontrolcüsünün güvenilir ve istikrarlı bir şekilde çalışabilmesi için matematiksel modeli çıkarılmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sürecin İHA tasarımının gerçekleştirilmesinden sonra yapılacak test denemelerine katkıda bulunacağı ön görülmüş, testlerdeki başarısının artmasının yanı sıra ve muhtemel test sayısını da azaltacağı öngörülmüştür.

Bu çalışmada önerilen tasarımın matematiksel modeli ele alındığında, 'X' gövde yapısına sahip bu İHA'nın simülasyon için gerekli olan denklem girişleri U1, U2, U3, U4 olarak tanımlanmıştır. Bu girişler motorların açılma hızları ile değişmektedir. Oluşturulacak İHA'nın itme denklemleri aşağıda verilmiştir.[12]

$$U1 = b(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (1)$$

$$U2 = b \sin \frac{\pi i}{4} (\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (2)$$

$$U3 = b \sin \frac{\pi j}{4} (\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (3)$$

$$U4 = d(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2) \quad (4)$$

Denklem 1,2,3 ve 4 ile verilen U1, U2, U3 ve U4 değerleri sırasıyla genel itki, yuvarlanma itkisi, yunuslama itkisi, sapma itkisi değerlerini ifade etmektedir.

Her bir motorun açılma hız değerleri ise sırasıyla $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ değerleri ile ifade edilmiştir. Denklemlerdeki b ve d değerleri itki katsayısı ve sürüklenme katsayısını ifade etmektedir.

Yukarıda verilmiş olan denklemler ile motorun atalet momenti ve rotor ataletleri birleştirilerek sapma (yaw- Ψ), yunuslama (pitch- θ) ve yuvarlanma (roll- ϕ) açılarının ivmesi bulunmaktadır. Bu ivmelere ait ifadeler aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.[12]

$$\ddot{\phi} = \frac{\theta \dot{\Psi} (I_{yy} - I_{zz}) - Jr \dot{\theta} \Omega r + l(U3)}{I_{xx}} \quad (5)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{\phi \dot{\Psi} (I_{zz} - I_{xx}) - Jr \dot{\phi} \Omega r + l(U3)}{I_{yy}} \quad (6)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{\theta \dot{\phi} (I_{xx} - I_{yy}) + (U_3)}{I_{zz}} \quad (7)$$

Denklem 5, 6 ve 7'de sunulan $\ddot{\phi}$, $\ddot{\theta}$ ve $\ddot{\psi}$ değerleri sırasıyla yuvarlanma ivmesi, yunuslama ivmesi ve sapma ivmesi değerlerini ifade etmektedir.

Denklem 8, 9 ve 10 ile sunulan, X, Y, Z yönündeki ivme değerleri ise \ddot{X} , \ddot{Y} ve \ddot{Z} ile gösterilmiştir. Denklemlerdeki diğer simülasyon parametreleri ise Tablo I 'de sunulmuştur.[12]

$$\ddot{X} = \frac{(\sin \Psi \sin \phi - \cos \Psi \sin \theta \cos \phi)U_1 - A_x \dot{X}}{m} \quad (8)$$

$$\ddot{Y} = \frac{(\cos \Psi \sin \phi + \sin \Psi \sin \theta \cos \phi)U_1 - A_y \dot{Y}}{m} \quad (9)$$

$$\ddot{Z} = \frac{mg - (\cos \theta \cos \phi)U_1 - A_z \dot{Z}}{m} \quad (10)$$

Denklemler için gerekli olan diğer değişkenlere ait açıklamalar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

TABLO I. BENZETİMDE KULLANILAN PARAMETRELER VE BİRİMLERİ

Sembol	Açıklama	Birim
I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}	Atalet Momentleri	$kg.m^2$
J_r	Rotor Ataleti	$kg.m^2$
l	Rotor Ekseninin İHA'nın Merkezine Uzaklığı	m
b	İtme Katsayısı	N/s^2
d	Sürüklenme Katsayısı	$N.m/s^2$
m	İHA'nın Kütlesi	kg
A_x, A_y, A_z	Her Eksen İçin Hava Sürtünmesi	kg/s

Bu parametrelerin yanı sıra hesaplanması önem arz eden bir diğer parametre de rotorların toplam hızıdır. Oluşturulacak toplam rotor hızları, dönüş yönlerinin farklılığı ile şekillenir.

$$\Omega_r = \Omega_1 - \Omega_2 + \Omega_3 - \Omega_4 \quad (11)$$

4 rotorlu döner kanat İHA'larda birinci ve üçüncü motor aynı yöne dönerken ikinci ve dördüncü motor aynı yöne döndüğü için toplam hız denklem 11'de verildiği şekilde bulunur.

IV. PID KONTROLÜN İHA ÜZERİNDE UYGULANMASI

Sistemin matematiksel modelinde anlatıldığı şekilde her motorun bir dönüş hızı ve bu hıza göre her motorun bir itkisi bulunmaktadır. Bu itki miktarına göre İHA hareket etmektedir. İHA'nın hareket edebildiği 6 eksen bulunmaktadır. X, Y, Z, θ , ϕ , Ψ bu eksenlerdir. Bu proje kapsamında tasarlanan PID (Proportional Integral Derivative) kontrolcü θ , ϕ ve Ψ eksenlerindeki açı değerlerini düzeltmek için kullanılmaktadır. İHA'nın yapısı gereği açısız konumunu değiştirdikçe bu değişimler X, Y, Z eksenlerindeki konumunda da değişime sebep olmaktadır. Bir pilotun İHA'yı kontrol edebilmesini sağlayacak sistemi oluşturmaktadır.

Kısaca PID algoritması oransal, integral ve türevsel olarak üç parçadan oluşmaktadır. PID algoritmasına bir referans değeri ve ölçüm değeri gönderilir. Bu iki değer arasındaki fark kullanılarak bir hata değişkeni elde edilir. Bu hata değeri oransal

katsayı ile çarpılır. Bu sistem üzerindeki en büyük düzeltme işlemini gerçekleştiren katsayıdır. Ardından hatanın integrali alınır. Birim zamanda altında kalan alan hesabı yapılmaktadır.

Fakat bu değer istenenden çok artabilmekte ya da azalabilmektedir o sebeple de sınırlandırılması gerekmektedir. Son olarak türevsel katsayısı ise, hatanın düzeltim hızını kontrol etmektedir. Hata miktarındaki değişimin belli bir türevsel katsayı ile çarpılarak sisteme eklenir. Bu durum bazı sistemlerde "Derivative Kick" olarak adlandırılan soruna sebep olabileceği için ölçüm değerlerinin değişimi de hesapta kullanılabilmektedir. Her bir katsayı işlemi sonucunda elde edilen değerler toplanarak çıktı elde edilmektedir.

Tasarlanan sistemde PID için kullanılan referans değerleri pilotun kumanda ile gönderdiği sinyal değerlerinin açıya çevrimi ile elde edilmektedir. PID sırasında kullanılan ölçüm değerleri ise tasarlanan kontrol kartı üzerindeki jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre sensörlerinden gelen verilerin birleştirilmesi ile elde edilmektedir. PID algoritmasındaki katsayılar (K_p , K_i , K_d) ise sisteme özgüdür. Sistemin matematiksel modeli ile elde edilmektedir. Sistemde 3 adet PID çıktısı alınmaktadır. Bir PID kontrolcüsü θ açısında düzeltme yaparken biri ϕ açısını düzeltmektedir. İHA'nın Ψ açısını düzeltmek için ise PI kontrolcü kullanılmaktadır.

V. OTONOM UÇUŞ

Tasarlanan İHA'nın otonom uçuşunun sağlanması için bir pozisyon kestirim algoritmasının tasarlanması gerekmektedir. İHA'nın üzerinde yer alan IMU (Inertial Measurement Unit) sensörleri dış bir referanstan herhangi bir yardım almadan uçağın konumunu bireysel olarak hesaplayabilir. Ancak, sensör verileri çıktıda kabul edilemez bir sapmaya yol açan çok sayıda hata içerir.

Bu nedenle, GPS ve IMU verilerini birleştiren ve IMU'daki hataların tahmin edilmesine yardımcı olan, böylece konum verisini iyileştirilmiş doğrulukla güncelleyen bir genişletilmiş Kalman filtresi kullanılarak pozisyon kestirim algoritması tasarlanacaktır.

Genişletilmiş Kalman filtresi, tahmini duruma dayalı olarak zamanla değişiklik gösteren F ve H Jacobian matrisleri dışında klasik Kalman filtresi gibi çalışır.

Kalman filtresini başlatabilmek için ilk başta bir başlangıç durum vektörü x_0 , ve bir başlangıç durum hata kovaryans matrisi P_0 gerekmektedir. Bu başlangıç vektörlerinden bir sonraki adımı tahmin etmek için kullanılan eşitlikler şunlardır[11]:

$$x_{k|k-1} = F_{k-1}x_{k-1} + B_{k-1}u_{k-1} + w_k \quad (12)$$

$$P_{k|k-1} = F_{k-1}P_{k-1}F_{k-1}^T + Q_k \quad (13)$$

Burada $x_{k|k-1}$ gösterimi x vektörünün (k-1) verisi kullanılarak tahmin edildiğini belirtmektedir. F ve G sistem dinamiğini belirleyen matrisler, u sisteme etki eden faktörlerin giriş matrisi, w hesaplama durum gürültü matrisi ve Q işlem gürültü kovaryans matrisini temsil etmektedir.

Tahmin edilecek değerler hesaplandıktan sonra bir sonraki aşama olan güncelleme aşamasına geçilir ve Kalman kazancı hesabı ile bu aşama başlar.

$$K_k = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R_k)^{-1} \quad (14)$$

Burada H, çıktıları tanımlamak için gereken bir matris, R ölçüm gürültü kovaryans matrisidir.

Sonrasında Kalman kazancı K_k , tahmin edilen durum vektörü x_k , ve GPS'den gelen ölçüm verileri z_k kullanılarak durum vektörü güncellenir. Kalman kazancı ölçüm verisi ile tahmin aşamasında hesaplanan durum arasında hangisine ne kadar ağırlık verileceğini belirlemektedir.

$$x_k = x_{k|k-1} + K_k(z_k - H_k x_{k|k-1}) \quad (15)$$

Benzer şekilde durum hata kovaryans matrisi de güncellenir.

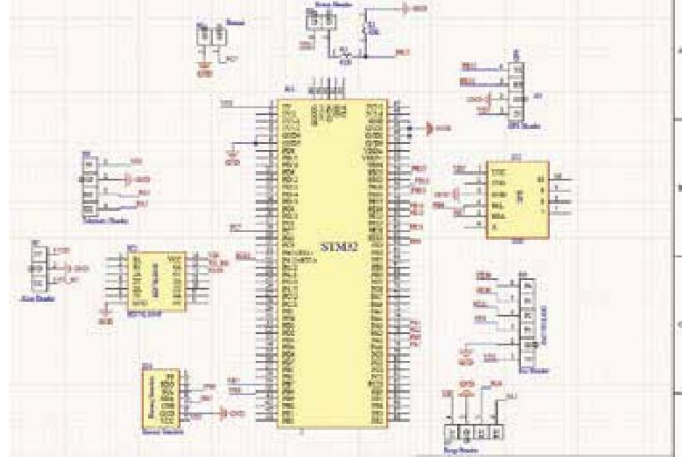
$$P_k = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} \quad (16)$$

I birim matristir. Sonuçta güncellenen durum vektörü içerisinde kestirimi yapılmak istenen pozisyon, hız ve yönelim değerleri yer almaktadır ve bu vektörler sonraki adımı hesaplamak için yeniden tahmin etme aşamasına girerler.

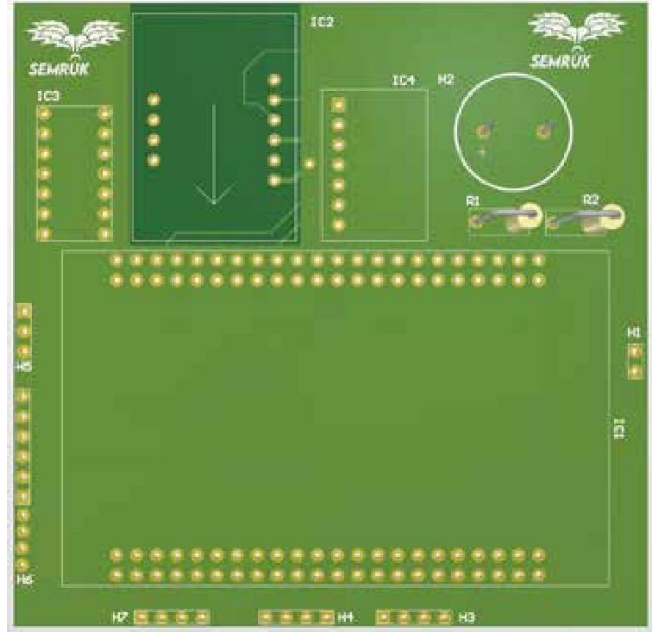
VI. UÇUŞ KONTROL KARTI

Tasarlanan İHA'nın uçuş kontrol kartı özgün tasarımıdır ve tasarımı Altium Designer programı kullanılmıştır. Uçuş kontrol kartının beyni ARM tabanlı bir işlemciye sahip olan STM32F407VET6 mini geliştirme kartı kullanılarak tasarlanmıştır. Bu kartın kullanılma sebebi boyutlarının benzerlerine göre küçük olması (40,89 mm ile 68,59 mm) ve SD kart girişinin üzerinde bulunmasıdır. Böylece oluşturulacak olan uçuş kontrol kartının boyutunun küçük tutulması amaçlanmıştır. ARM işlemci kullanılmasının sebebi ise uçuş algoritmalarını çalıştıracak işlem gücüne ve kodları depolayacak hafızaya sahip olmasıdır. İşlemcide, STMCubeIDE programında C/C++ dili kullanılarak programlanmıştır.

IMU (Ataletsel Ölçüm Birimi - Inertial Measurement Unit) sensörü olarak Adafruit markasının FXOS8700 6 eksen ivmeölçer ve manyetometre aynı zamanda FXAS21002 3 eksenli jiroskop sensörlerini bir arada bulundurduğu hassas NXP 9-DOF Breakout kartı kullanılmıştır. Bu sensörün seçilme sebebi piyasadaki emsallerine göre daha yüksek hassasiyet ve jiroskop stabilite performansı olmasıdır. Barometre sensörü olarak GY-63 MS5611 kullanılması planlanmış bu seçimin sebebi ise 10 cm hassasiyete sahip olmasıdır. Tasarlanacak kartın üzerinde GPS, barometre, telemetri, buton, zil, yardımcı bilgisayar ve alıcı için gerekli giriş çıkış pin boşlukları tasarlanacak ve karta eklenecektir. Belirtilen bütün bileşenlerin, tasarlanacak kart üzerine yerleştirilmesi, tasarımın boyut ve şekil olarak en verimli olacağı biçimde yapılması amaçlanmıştır. Tasarlanan uçuş kontrol kartının boyutları 80,30 mm ile 78,87 mm'dir. Kartın şematik ve PCB çiziminin görselleri aşağıda verilmiştir;



Şekil 3. Tasarlanan İHA Uçuş Kontrol Kartına Ait Şematik



Şekil 4. Tasarlanan İHA Uçuş Kontrol Kartına Ait PCB

VII. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLASI KATKISI

Bu proje sayesinde proje ekibinin 4 rotorlu döner kanatlı bir İnsansız Hava Aracı (İHA) tasarlamıştır. Bu tasarımda özgün uçuş kontrol kartı yazılımına dair bilgi dağarcığı genişlemiştir. Proje sonucunda, TUSAŞ'a, erken İHA tasarım aşamalarında kullanılabilecek kararlı bir 4 rotorlu döner kanatlı bir İnsansız Hava Aracı (İHA) tasarımı, bu tasarıma ait matematiksel model altyapısı ve uçuş kontrol yazılımı kazandırılmıştır.

VIII. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu projede yapılan çalışmalar ile elde edilen bilgiler ışığında motor parametreleri de ölçülerek matematiksel model güncellenebilir ve farklı itki kuvvetleri ile detaylı incelenebilir. Farklı test ortamları ile parametreler güncellenerek analizleri yapılabilir. İHA'nın önceden belirlenmiş bir göreve yönelik otonom uçuş gerçekleştirmesi sağlanabilir.

IX. SONUÇ

Electrical And Microelectronic Engineering Kate Gleason College Of
Engineering Rochester Institute Of Technology Rochester, 2017

Tamamen yerli imkânlarla tasarlanan ve üretilen döner kanatlı bir İHA tasarımı bu çalışmada sunulmuş, tasarımına ait benzetimler için ise sistem matematiksel modeli elde edilmiştir. İHA'nın uçuş kontrolü özgün bir yazılımla yapılmıştır. Uçuş kontrolü için PID kontrolcü tasarlandı ve benzetim ile PID değerleri hesaplanmıştır. Tasarlanan bu kontrolcü yazılıma aktarılıp İHA üzerinde test edildi ve en iyilenmiştir. Otonom uçuş için gerekli olan Genişletilmiş Kalman Filtresi araştırılarak otonom uçuş için gerekli olan altyapı oluşturulmuştur. Uçuş kontrol kartının donanımsal tasarımı gerçekleştirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 20201130J2A0001 numaralı Lift-Up Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Projesi kapsamında TUSAŞ tarafından ve 21Ö0443002 numaralı Ankara Üniversitesi BAP Öğrenci Odaklı Projesi (ÖOP) kapsamında Ankara Üniversitesi tarafından desteklenmiştir. TUSAŞ ve Ankara Üniversitesi'ne destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] F. Di Felice, A. Mazzini, G. Di Stefano, G. Romeo, Drone high resolution infrared imaging of the Lusi mud eruption, *Marine and Petroleum Geology*, 90, 38-51, 2018.
- [2] Aydin B, Selvi E, Tao J, Starek MJ. Use of Fire-Extinguishing Balls for a Conceptual System of Drone-Assisted Wildfire Fighting. *Drones*. 2019; 3(1):17. <https://doi.org/10.3390/drones3010017>
- [3] Bodnar Laszlo, Restas Agoston, Qiang Xu, Conceptual Approach of Measuring the Professional and Economic Effectiveness of Drone Applications Supporting Forest fire Management, *Procedia Engineering*, 211, 8-17, 2018.
- [4] Restas, A. Drone Applications for Supporting Disaster Management. *World Journal of Engineering and Technology*, 3, 316-321, 2015.
- [5] UM Rao Mogili, B B V L Deepak, Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture, *Procedia Computer Science*, 133, 502-509, 2018.
- [6] Marinello F., Pezzuolo A., Chiumenti A., Sartori L. Technical analysis of unmanned aerial vehicles (drones) for agricultural applications. *Engineering for Rural Development*, 15, 2016.
- [7] Morey N.S., Mehre P.N., Hedao K. Agriculture Drone for Fertilizers and Pesticides Spraying. *International Journal for engineering applications and Technology*, 3 (5), 2017.
- [8] I. Shaw, History of U.S. drones, [Online]. Retrieved from: <https://understandingempire.wordpress.com/2014/02/a-brief-history-of-u-s-drones/> (2014),
- [9] J. Stamp Unmanned drones have been around since world war I [Online]. Retrieved from: <http://www.smithsonianmag.com/arts-culture/unmanned-drones-have-been-around-since-world-war-i-16055939/#ZOkewSDbAgEoRHhA.99>
- [10] Rocci Luppigini, Arthur So, A technoethical review of commercial drone use in the context of governance, ethics, and privacy, *Technology in Society*, 46, 109-119, 2016
- [11] Matthew B. Rhudy, Roger A. Salguero and Keaton Holappa, A kalman filtering tutorial for undergraduate students, *IJCSES*, 1, 2017
- [12] Nicholas Ferry, Quadcopter Plant Model and Control System Development With MATLAB/Simulink Implementation, *Department Of*

B420 Binası Kapsamında Bulunan Makine Verilerinin Dijitalleştirilmesi

Digitization of Machine Data in Building B420

Begüm Özbay
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Ankara, Türkiye
begumozbay@gmail.com

Sinan Demir
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Ankara, Türkiye
snndmrpx@gmail.com

Hüseyin Büyükgüzel
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Ankara, Türkiye
huseyinbuyukguzelhb@gmail.com

Remzi Yıldırım
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Ankara, Türkiye
remzi1963@gmail.com

Işıl Güler
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Ankara, Türkiye
isilguler8@gmail.com

Abdullah Arda Günaydın
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Ankara, Türkiye
abdullaharda.gunaydin@tai.com.tr

Özetçe—Üretim endüstrisindeki bakım ve güvenilirlik uzmanları, varlık kullanılabilirliğini iyileştirmek için birincil hedefe sahiptir. Yetersiz ve daha az bakım stratejisi, makinelerin daha düşük üretkenliğine neden olabilir. Aynı zamanda, sık bakım faaliyetlerinden kaynaklanan planlanmamış duruş süreleri mali kayba neden olabilir. Makine veya ekipmanlardan gelen verilerin, dijitalleşme sayesinde dijital ortama aktarılıp işlenmesinden sonra, arıza ihtimalini değerlendiren kestirimci bakımın asli hedefinden esinlenilmesi sonucunda, CNC tezgahlarındaki üretimde gerekli değişkenlerden oluşan veri seti kullanılarak oluşturulan hata tahminleme makine öğrenmesi modeli ile, %80 başarı oranında üretim için seçilen makine ve girilen değerler ile, üretim aşamasının başarılı bir şekilde gerçekleşip gerçekleşmediğine dair, yüksek doğrulukta üretim öncesinde farkındalık sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — kestirimci bakım, dijitalleşme, veri analizi, makine öğrenmesi, CNC üretim tezgahı, veri görselleştirme.

Abstract—Maintenance and reliability professionals in the manufacturing industry have a primary goal of improving asset availability. Inadequate and less maintenance strategy can result in lower productivity of machines. At the same time, unplanned downtime from frequent maintenance activities can result in financial loss. Inspired by the main goal of predictive maintenance, which evaluates the probability of failure after the data coming from the machinery or equipment is digitized and processed, with the digitalization of the data, the error prediction machine learning model created with the data set consisting of the variable values required in the production in CNC machines, with a success rate of 80%. With the machine and the entered values, it also allowed to know with high accuracy whether the production phase was realized successfully before the production.

Keywords — predictive maintenance, digitization, data analysis, machine learning, CNC machine tool, data visualization.

I. PROBLEM TANIMI

Dijitalleşmenin gelişmesi, endüstride akıllı fabrikayı gerçekleştirmek için öncelikle bir bakım sistemi gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Bu gereklilik beraberinde hangi bakım türü dikkate alınmalı sorusunu getirmektedir. Araştırmalar sonrasında problem tanımının, hedeflerin ve diğer koşulların değerlendirilmesi sonucunda kestirimci üretim sisteminin uygulanması kanaatine varılmıştır. Kestirimci üretim sistemi, mevcut koşulları tespit edebilir, bir sorunu teşhis edebilir ve bir karar verebilir. Tahmine dayalı üretim uygulamasının amacı, verilere dayalı makine öğrenimi yöntemlerini geleneksel üretim fabrikasına uygulamaktır. Bu çalışmanın hedef problemi, verilere dayalı olarak makine öğrenimi yöntemlerinin kullanılması sonucunda CNC makinelerinin üretim sonuçlarının başarı durumunu tahmin etmektir. Makine öğrenimi yöntemlerini uygulamak için verinin özelliklerini anlamalı ve veri özelliklerine göre en uygun yöntem bulunmalıdır. Bu sebeple, bu aşamaya gelindiğinde “Bir veri bilimi projesi nasıl ve hangi adımlar izlenerek yürütülmelidir?” araştırma sorusunun cevabı bulunarak CRISP-DM metodolojisiyle projenin veri analizi ve veriden faydalı bilgi çıkarma gereksinimlerinin planlı bir şekilde yürütülebileceği kararı alınmıştır. Projede CNC makinelerindeki işlem sonucunu tahminleyecek modelin geliştirilmesi için, belirli seviyede makine verisine ihtiyaç duyulmasının ve veri gizliliği sebebiyle B420 binası kapsamında bulunan makine verilerine erişim sağlanamamasının sonucunda, bu eksikliği giderebilmek adına proje amacına uygun değişkenleri içeren veri setine uzun araştırmalar sonrasında erişilmiştir. Bu aşamada veri setlerinin kaynağına ve doğruluğuna özellikle dikkat edilerek ve proje için belirlenen koşullara göre filtrelenerek en uygun veri seti seçimi yapılmıştır. Bu konuyla ilgili olarak belirtilmesi oldukça önemli bir husus ise, geliştirilen modelin ve uygulamanın genellenebilirliğine dikkat edilerek ileriki zamanlarda B420 binası üretim makinelerinin verileri ile kullanıma hazır olacak

şekilde dinamik yazılım prensibine uygun geliştirme tekniklerinin kullanıldığıdır. Eksikliğin giderilmesiyle veri seti kullanıma hazır hale getirilmiştir. Veri analizinde önemli bir yeri olan keşifçi veri analizi [4] ile faydalı bilgi kazanımı için verilerin özütü anladıktan sonra, veri setinin yapısına uygun birden fazla makine öğrenmesi modeli oluşturulmuş ve tahmin başarısı en yüksek model kullanılmıştır.

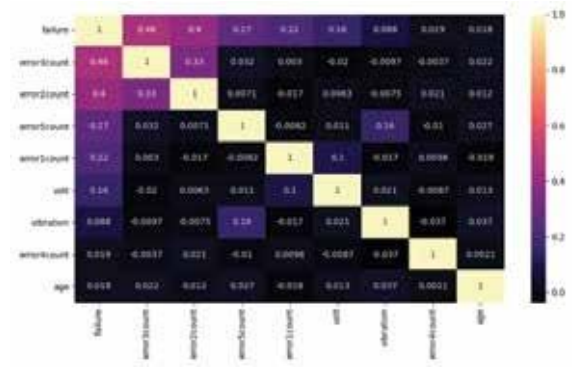
Uygulama ekranı üzerinden seçilen bir makinedeki işlemin sonucunu, kullanımı ve anlaşılması kolay bir web uygulaması aracılığıyla yüksek doğrulukta gözlemlenmiştir.

II. GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ

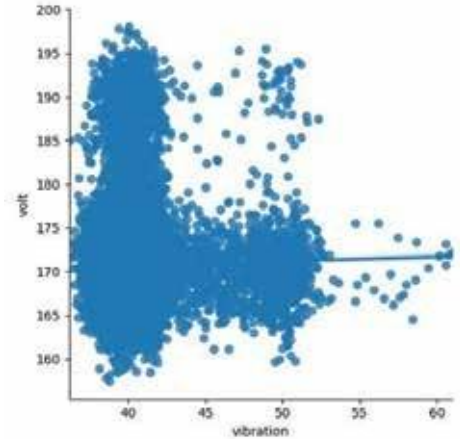
Projeye başlamadan önce projenin aşamalarını doğru bir şekilde belirlenmesi ve belirlenen aşamaların planlı gidebilmesi amacıyla veri bilimi projeleri için süreç modeli olan CRISP-DM [5] standardı ile ilerleme kararı alındı. Ardından, projenin amacı ve ihtiyaçları göz önünde tutularak yapılan araştırmalar sonucunda, ilk fazında detaylı literatür inceleme aşaması tamamlanan projenin yazılım geliştirme kısmında gerek desteklenen kütüphaneler gerekse proje yapısına uygunluk açısından en uygun programlama dilinin Python [7] olduğuna dair karar alınmıştır. CRISP-DM metodolojisine göre veriyi anlama aşamasında keşifçi veri analizi ile faydalı bilgi edinme ve verilerin kullanılabilirliğini artırma hedeflenir. Keşifçi veri analizinde çok değişkenli istatistiksel analizler ve veri görselleştirme yaklaşımları uygulanarak temel istatistikler ve göz ile yakalanamayacak yapıların ortaya çıkarılması amaçlanır. Bu amaç doğrultusunda veri setindeki kategorik ve sayısal değişkenler tek değişkenli, iki değişkenli ve çok değişkenli şekilde incelenir. Tek değişkenli incelemelerde değişkenlerin varyansları, ortalamaları, genel eğilimin dışındaki değerler olan aykırı ve eksik gözlem değerlerin incelemeleri ele alınabilir. Keşifçi veri analizinin en önemli yanlarından birisi veri görselleştirmesidir. Nicel değerler ile ifade edilen betimlemeler veri boyutu büyüdüğünde anlamlı hale getirilmesi zor bir hal almaktadır. Bu durumda veri görselleştirme desteği ile daha etkili ve doğru şekilde gerçekleştirilebilir. Veri görselleştirme ile kategorik değişkenler ile sürekli değişkenler arasındaki ilişkileri etkili bir şekilde ortaya koyulabileceği gibi histogramlar, olasılık yoğunluk gösterimi, bar grafik gibi grafikleri oluşturulabilir.

```
# Sayısal değişkenlerin basit istatistik olarak analizi için
def hist_for_nums(data, numeric_cols):
    col_counter = 0
    data = data.copy()
    for col in numeric_cols:
        data[col].hist(bins=20)
        plt.xlabel(col)
        plt.title(col)
        plt.show()
        col_counter += 1
    print(col_counter, "variables have been plotted")
```

Şekil 1. Sayısal Değişkenlerin Grafiksel Analizi için Histogram Tipi Grafik İle Gözlenmesi



Şekil 2. Veri Setinin Heatmap Grafik Tipi ile Korelasyon Matrisinin Görselleştirilmesi



Şekil 3. Sayısal Değişkenlerin Scatter (Saçılım) Grafiği ile Birbirlerine Göre İncelenmesi

Veriyi anladıktan sonra verinin hazırlanması aşamasında "Feature Engineering (Değişken Mühendisliği)" yöntemi uygulanmıştır. Burada amaç, veri setinde var olan değişkenleri kullanarak bu değişkenlerden farklı değişkenler üretmektir. Örneğin bir değişken içerisinde, metin alanında yer alan değerler yorumlanarak yeni bir değişken türetilir. [8]. Projede değişken mühendisliği aşamasında türetilen değişkenler, NEW_AGE_CAT ve NEW_IS_RISKY değişkenleridir. İlk değişken, makineleri belirli yaş aralıklarıyla sınıflandırarak makinenin eski, orta ya da yeni bir makine olduğunu hızlı bir şekilde veri setinden gözlemlememize yardımcı olmaktadır. İkincisi ise, makinede beşten fazla hata sayısı varsa o üretim sürecinin yüksek riskte hatalı olacağını, beşten daha az ise riskin orta seviyede hata görülmediyse de risksiz bir üretim süreci olduğunu belirten ve bu sınıflandırmayı otomatikleştiren bir değişkendir.

```
# NUMERIC TO CATEGORICAL
df.loc[(df['age'] >= 0) & (df['age'] < 6), 'NEW_AGE_CAT'] = 'yeni'
df.loc[(df['age'] >= 6) & (df['age'] <= 15), 'NEW_AGE_CAT'] = 'orta'
df.loc[(df['age'] >= 16), 'NEW_AGE_CAT'] = 'eski'
```

Şekil 4. Numeric to Categorical Yöntemiyle Yeni Bir Değişken Üretimi

Bu aşamalardan sonra CRISP-DM' e göre sonraki adım olan modelleme kısmına geçilmiştir. Burada amaç elimizdeki veriyi modellemektir. Diğer bir tabirle veri setinin özütünün

çıkartılması sonucunda makine öğrenmesinin gerçekleştirilmesidir. İlk olarak, projede kullanılan veri seti için en uygun makine öğrenmesi modelleme algoritmasının seçilebilmesi hedeflenmiştir. Makine öğrenmesi modelleri arasından veri setine en uygun modelin seçimi için veri seti probleminin türüne karar verilmiştir. Karar aşamasında araştırmalar sonucu elde edilen koşullar şu şekildedir:

Eğer veri setinde modelin tahmin edeceği hedef değişkenin tipi sayıysa, Regresyon Model problemidir. Fakat hedef değişken kategorik değişken ise Sınıflandırma Modelidir. Ayrıca, hedef değişkeni veri seti tablosu içinde yer aldığı için makine öğrenmesinde gözetimli öğrenme modelinin kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kullanılan veri setinin gözetimli ve sınıflandırma modeli olduğuna dair açıklık getirdikten sonra, sınıflandırma modeli için başarı değerlendirme ölçütleri incelenmiştir. Araştırmalar sonrası "Accuracy" ya da "AUC" değerlendirme metriklerinin kullanımının daha sık tercih edildiği fakat pratikte en çok "Accuracy" metriğinin kullanılmasından dolayı, model oluşturulduktan sonra bu metriğe göre model başarısının değerlendirilmesi kararı alındı. Ardından sınıflandırma modeli kapsamına giren makine öğrenmesi modellerinin isimleri ve çalışma prensipleri hakkında bilgi edinildi. Aşağıda hakkında araştırmalar yapıldıktan sonra sınıflandırma modeli kapsamına girdiği gözlemlenen modeller verilmiştir:

- K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors)
- Destek Vektör Regresyonu (Support Vector Regression)
- Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)
- CART (Classification and Regression Tree)
- Rastgele Ormanlar (Random Forests)
- Gradient Boosting Machines (GBM)
- XGBoost
- Light GBM
- CatBoost (Category Boosting)

Bir sonraki aşamada, makine öğrenmesi modellerine gönderilen değişkenlerin sayısal değerler olması zorunluluğundan dolayı, metinsel değerler içeren değişkenlerin "Label Encoder" yöntemiyle dönüşümü sağlandıktan sonra sırasıyla sınıflandırma modelleri oluşturuldu. Ardından, geliştirme ortamı terminali üzerinden modeller henüz optimize edilmeden çapraz doğrulama yöntemiyle her bir algoritma için doğruluk değeri elde edilmiş ve en yüksek değerin 0.998764 ile Random Forests (RF) [9] modelinde alındığı görülmüştür. Bu sonuç sonrası, proje modelinin performans yüksekliği sebebiyle Random Forests ile oluşturulmasına karar verilmiş ve model başarısını artırma çalışmalarının (dengesiz veri seti optimizasyonu, model için en iyi parametrelerin bulunduğu model tuning gibi) Random Forests model algoritması üzerinde yapılmıştır. Veri setinin yapısına uygun tüm iyileştirmeler sonrası model ile tekrar tahminleme gerçekleştirildiğinde %80 doğruluk değeri elde edilmiştir. Modellemenin son aşamasında ise Python nesnesi serileştirme modülü olan "pickle" metodu ile RAM' den diske inilerek model nesnesinin proje klasörüne "RF.pkl" olarak kaydedilmesiyle CRISP-DM modelleme

aşaması da tamamlanmıştır. Kullanılan bu yöntem ile %80 başarı oranı ile tahmin yeteneğine sahip model kullanılabilir olmaya hazır duruma getirilmiştir.

```
rf_model = RandomForestClassifier(random_state=12345).fit(X, y)
cross_val_score(rf_model, X, y, cv=10).mean()

rf_params = {"max_depth": [3, 5, 8, None],
             "max_features": [1, 5, 7],
             "n_estimators": [100, 200, 300, 1000],
             "min_samples_split": [2, 5, 10, 20]}

rf_model = RandomForestClassifier(random_state=12345)
gs_cv = GridSearchCV(rf_model,
                    rf_params,
                    cv=10,
                    n_jobs=-1,
                    verbose=2).fit(X, y)

gs_cv.best_params_

rf_tuned = RandomForestClassifier(**gs_cv.best_params_, class_weight=(1,1, 8,10))
cross_val_score(rf_tuned, X, y, cv=10).mean()
```

Şekil. 5. Random Forests Sınıflandırma Modeli Kullanımı

Son olarak modelin başarısını etkileyen değişkenlerin önem düzeyini Değişken Önemi (Feature Importances) yöntemiyle gözlemleyerek makine öğrenmesi aşaması tüm geliştirmeler ve değerlendirmeler sonucu eksiksiz bir şekilde tamamlanmıştır.

Projenin makine öğrenmesi fazı sonrasında modeli kullanabilir kılan web uygulamasının geliştirilmesi üzerine çalışmalara hızlı bir şekilde başlanmıştır. Oluşturulan modelin, proje tanımına uygunluğu değerlendirildikten sonra CRISP-DM'in son aşaması olan "Kullanıma Sokmak" kısmına geçilmiştir. Burada, Python destekli web aracı olan FLASK teknolojisini kullanarak arka yüz için JavaScript, Python ve SQL, ön yüz için HTML ve CSS teknolojileri kullanarak modelin "RF.pkl" dosyasından çağırılmasıyla bir web uygulaması üzerinden kullanılabilmesi için gerekli tüm geliştirmeler yapılmıştır. Makine verilerinin tutulması, ilerleyen süreçlerde modelin gelişimi için kullanılabileceği için tahminleme formu üzerinden girilen değerler ve tahmin çıktısı verileri veri tabanında (MySQL) tutularak kalıcılığı sağlanmıştır. Ayrıca, dijitalleşmede veri görselleştirmeye de önem vererek chart.js teknolojisinin desteği ile dijital ortama aktarılan verilerden gelen değerler ile her bir makine özelinde çizgi ve pasta dilimi grafikleri oluşturulmuştur. Proje sonunda elde edilen sonuçlara ve tüm geliştirmeler sonrasında kullanıma hazır yazılım uygulamasına dair detaylara Araştırma Sonuçları ve Çıktılar bölümünde yer verilmiştir.

III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

Geliştirme sonunda kullanım amacı, B420 binası içindeki CNC makinelerinde gerçekleştirilen üretim süreçleri için, üretim başlamadan önce girilen değerler ile, üretimin başarılı sonlanıp sonlanmayacağına dair tahmin sonucunu teknik çalışana, uygulama ekranında gösterebilmektir. Bu sonuç ile çalışanlar üretimi hangi makinede başlatacaklarına dair fikir edinebilir ya da seçmiş olduğu makinede gerçekleştirilmiş daha önceki işlemlerde kullanılan değerleri dijital ortamdan gelen verilerle dinamik bir şekilde uygulamaya entegre edilen grafikler ile gözlemleyebilir, alt ve üst limitlere bakarak tahminleme işlemini gerçekleştirirken girilen değerler için bir

bulunmaktadır. Formun kullanıcı tarafından Şekil 8’de gösterilen makine değerleri ile doldurulması gerekmektedir. Tüm makine değerleri girildikten ve kullanıcı “Check” butonuna bastıktan sonra, ekranda "Hata alınabilir" veya "Hata alınmaz" mesajlarından uygun olan gösterilmektedir. Bu sayede, üretim sürecinde makineyi işleme sokmadan işlem sonucu hakkında bilgi edinilmiş olacaktır.



Şekil. 6. Bir Makineye Ait Grafiklerin Gösterimi



Şekil. 7. Bir Makineye Ait Volt Değerinin Gösterimi

Proje tanımında da beklendiği üzere şirket içindeki makinelerin değişme ihtimali de düşünülerek uygulamaya üretim sahasına eklenecek ya da sahadan çıkarılacak bir makine için ekle/çıkar fonksiyonlarının gerçekleştirilebilmesine yönelik özellikler de eklenmiştir. Uygulamamızın gerçekleştirmesi gereken üç temel görevi bulunmaktadır. Bu görevlere ara yüzde Makine İşlemleri (Machine Operations) ve Tahminleme İşlemleri (Predict Operations) başlıkları altında yer verilmektedir. "Predict Operations" bölümünde bir CNC makinesinin belirli değerler ile işleme girdiğinde hata alıp almayacağını tespit etmek amacı ile kullanılacak olan bir form

CNC

8

Machine Operations

Product Operations

CNC PREDICT FORM

Registration Number

Placeholder Registration Number

Machine ID

Placeholder Machine ID

Model

Enter model

Age

Enter age

Vol

Enter vol

Brake

Enter brake

Pressure

Enter pressure

Location

Enter location

Error 1 Count

Enter amount

Error 2 Count

Enter amount

Error 3 Count

Enter amount

Error 4 Count

Enter amount

Error 5 Count

Enter amount

Check

Şekil. 8. Hata Tahmini için Kullanıcı Tarafından Doldurulan Form

"Machine Operations" bölümünde ihtiyaç duyulduğunda yazılıma yeni bir makinenin eklenmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. "Add Machine" sayfasında kullanıcı "CNC ADDITION FORM" formu ile karşılaşır ve bu formu kullanıcının, makineye ait üç temel özellik olan makine numarasını, modelini, yaşını girmesi ve makineye ait kaydedilmiş verileri içeren bir veri seti yüklemesi beklenir. "Add Machine" butonuna basılması sonucunda yeni makine özellikleri ile ana sayfada yer alan kayıtlı makineler bölümüne eklenmiş olur. Ana sayfada üretimde yer alan makinelere ait bilgiler yer almaktadır ve her bir makineye ait grafiklere ulaşılabilir, gerek duyulduğunda makine yazılımından çıkartılabilir.

Şekil. 9. Sisteme Yeni Bir Makine Ekleme için Doldurulması Gereken Form

IV. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLASI KATKISI

A. Proje Ekibinin Kazanımları

Bitirme projesi sürecinde Makine Verilerinin Dijitalleştirilmesi konulu proje için Endüstri 4.0 teknolojileri, CNC makineleri, makinelerin performans ölçümü için kullanılan sistemler ve tahminlemeye dayalı makine öğrenimi projeleri hakkında kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Endüstri 4.0 ile işleyişi değişen ve gelişen fabrikalarda kullanılan çeşitli CNC makineler tüm özellikleri ile incelenmiş ve öğrenilmiştir. Makinelerden toplanan verilerin üretim sistemlerinin verimliliğini ve performansını arttırmada kullanılabilmesini sağlamak için simülasyon, dijital ikiz ve bakım türleri gibi farklı teknolojiler hakkında bilgi edinilmiştir. Bu inceleme ve araştırmalardan elde edilen teorik bilgiler projenin ikinci fazında proje için uygun görülen kestirimci bakım ile uygulama geliştirme bölümünde gerçek bir probleme uygulanmıştır. Proje ekibimiz bu süreçte, ekip çalışması, araştırma ve analiz, hızlı ve etkili karar alabilme, detaylar üzerinde durabilme ve proje yürütme yeteneklerini geliştirmişlerdir.

B. Projenin TUSAŞ'a Olası Katkıları

TUSAŞ'ın bu çalışma sonucunda tasarlanan uygulamayı kullanması ile, makinelerin belirli değerler ile işleme girdiğinde hata alınıp alınmayacağı tahmininin yapılabilmesi ve böylece üretimde işlemlerin gerçekleştirilmeden önce olabileceklerin öngörülmesi sağlanabilecektir. Oluşan hatalar sebebi ile üretimde meydana gelen zaman, iş gücü kaybının ve maddi kaybın önüne geçilebilecek ve böylece üretimde performans ve verimlilik artışı gözlemlenebilecektir. TUSAŞ bu sistemi kullanarak müşterinin teslim zamanlarını karşılamasını sağlayacak şekilde daha etkin ve dengeli bir biçimde planlama yapabilecektir.

V. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Projede ele alınan makine verileri TUSAŞ'a ait olan ve uçakların belirli parçalarının yapımında kullanılan CNC makine verileri ile değiştirilerek, geliştirilen tahminlemeye

dayalı makine öğrenmesi modelinin kullanılması sonucunda makinenin hata alıp almayacağını değerlendirebileceği düşünülmektedir. Gerçek makine verileri ile çalışıldığı zaman TUSAŞ tarafından titreşim verisinin alınamamasından kaynaklı kullanıcı ara yüzünde ve elde edilen sonuçlarda veri setine uygun bazı değişikliklerin yapılması planlanmaktadır.

Yapılan detaylı literatür araştırmalarında CNC tezgahlarında meydana gelen titreşimlerin çeşitli arızalara sebep olduğu öğrenilmiştir. Bu doğrultuda projede kullanılan veri setinde titreşim verisine de yer verilmektedir. Projeye ait gelecek çalışmalarda gerekli donanım ekipmanları ve sensörler kullanılarak, hata tahminleme sonucuna önemli etkisi olan titreşim verisi elde edilebilirse, kullanılan makinenin girilen değerler doğrultusunda bir hata ile karşılaşp karşılaşmama durumunu daha doğru ve güvenilir şekilde tahmin edilebileceği düşünülmektedir.

İlerleyen zamanlarda projede gelişim amaçlı değişimlere gidilirse, modelin önceden hatayı tespit etme özelliğine ek olarak, tarih ve saat verilerinin verilmesiyle arıza zamanına dair daha detaylı tahminler yapılmasına yönelik geliştirmeler yapılabilir. Yine farklı bir özellik olarak işleme sokulan parçanın materyali ve şekil özellikleri ile görüntü işleme teknikleri uygulanarak üretimdeki giderlerin azaltılmasına yönelik araştırmalar yapılabilir ve bu yönde daha kapsamlı ve farklı amaçlara da katkı sağlayacak bir geliştirme sürecine başlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Smith, J. O. and Abel, J. S., "Bark and ERB Bilinear Transforms", IEEE Trans. Speech and Audio Proc., 7(6):697-708, 1999.
- [2] Lee, K.-F., Automatic Speech Recognition: The Development of the SPHINX SYSTEM, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1989.
- [3] Rudnick, A. I., Polifroni, Thayer, E. H., and Brennan, R. A. "Interactive problem solving with speech", J. Acoust. Soc. Amer., Vol. 84, 1988, p S213(A).
- [4] Stephanie Glen, StatisticsHowTo.com, "Data Analysis & Exploratory Data Analysis (EDA)"
- [5] Mustafa Vahit Keskin, veribilimokulu.com, "Veri Bilimi Proje Döngüsü", 2018.
- [6] Işıl Güler, Medium.com, "Veriden Faydalı Bilgi Çıkarma Süreci & CRISP-DM", 2020.
- [7] Matthew Mayo, KDnuggets, "7 Steps to Mastering Machine Learning With Python", 2005.
- [8] Yiğit Şener, Medium.com, "Makine Öğrenmesinde Değişken Seçimi (Feature Selection) Yazı Serisi: Genel Bakış", 2020.
- [9] Alzubaidi, Laith, "Using Random Forest Algorithm for Clustering", Applied Sciences 13(21):9189-9193, 2018
- [10] Keskin, Mustafa Vahit, "Python A-Z™: Veri Bilimi ve Machine Learning", 2020, <https://www.udemy.com/course/python-egitimi/>

Yüksek Doğrulukla Yabancı Madde Tespiti (YAMATE)

Detection of Foreign Objects With High Accuracy

Mehmet Ali Cabioğlu
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
mehmetcbl01@gmail.com

Okan Ülker
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
okanulkr@hotmail.com

Emre Körüs
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
emre.korus@gmail.com

Fahreddin Şükrü Torun
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği
Ankara, Türkiye
ftorun@ybu.edu.tr

Murat Karaderili
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Ankara, Türkiye
mkaraderili@tai.com.tr

Özetçe—"Yüksek doğrulukta yabancı madde tespiti" projemizin amacı; uçuş alanındaki yabancı maddelerin neden olduğu hasarları önlemektir. Yüksek maliyetlerle üretilen uçakların iniş ve kalkışına uygun bir ortam sağlamak için uçuş alanları temiz ve güvenli olmalıdır. Uçuş alanında tespit edilemeyen yabancı maddeler uçağa zarar verebilir ve kazalara neden olabilir. Bu amaç doğrultusunda çeşitli aşamaları içeren projemizin ilk adımı, yüksek doğrulukta çalışan ve bu bağlamda özelleştirilmiş veri setleri ile eğitilmiş gerçek zamanlı görüntü işleme yazılımının geliştirilmesidir. İkinci adımda, görüntü işleme yazılımımızı bir gezici robota entegre etmeyi, yabancı madde tespitini dinamik hale getirmeyi ve böylece uçuş alanındaki yabancı maddeleri tespit etmeyi hedefledik. Üçüncü aşama, önceki aşamalarda tespit ettiğimiz yabancı maddelerin konumlarının merkezi kontrol yazılımına bildirilmesidir. Projenin son aşamasında, geliştirdiğimiz yazılım-robot entegrasyonunun yönetimi, izlenmesi ve tespit edilen maddelerin raporlanması sağlanmıştır. Bunun için merkezi bir kontrol yazılımı geliştirildi, ardından bu yazılımı bulut ve mobil çözümlerle destekleyerek ülkemizin havacılık ve uzay endüstrisinde kullanılabilecek tam entegre bir çözüm geliştirildi.

Anahtar Kelimeler — havacılık, derin öğrenme, robotik, insansız sistemler, görüntü işleme, nesne tanıma, mobil çözüm, bulut tabanlı sistemler, haberleşme.

Abstract— The aim of our project, "Detection of foreign objects with high accuracy", is to prevent damage to aircraft caused by foreign objects in the flight area. Flight areas must be clean and safe to provide a suitable environment for the landing and take-off of aircraft produced at high costs. Foreign objects that cannot be detected in the flight area can damage aircraft and cause accidents. For this purpose, the first step of our project, which includes various stages, is the development of real-time image processing software that works with high accuracy and is trained with customized data sets in this context. In the second step, we aimed to integrate our image processing software into a

rover robot, to make foreign object detection dynamic and thus to detect foreign object in the flight area. In the third stage, the locations of the foreign objects that we detected in the previous stages are reported to the central control software. In the last stage of the project, software-robot integration management and monitoring were provided. Also, reporting of the detected objects were provided. A central control software was developed for this, and then a fully integrated solution was developed that can be used in the aviation and space industry of our country by supporting this software with cloud and mobile solutions.

Keywords — aviation, deep learning, robotics, unmanned systems, image processing, object recognition, mobile solution, cloud based systems, communication.

I. GİRİŞ

Yüksek maliyetlerle ve uzun zamanlarda üretilen hava araçlarının iniş kalkışlarına uygun ortam sağlamak için uçuş pistleri temiz ve güvenli olmalıdır. Uçuş alanında fark edilemeyen yabancı maddeler hava araçlarına zarar verebilmekte ve kazalara yol açabilmektedir. Bu kazaları önlemek amacı ile yapılacak olan "Yüksek doğrulukta yabancı madde tespiti" adlı projemiz hem havacılık sektörü için hem de Türk Havacılık ve Uzay Sanayii için bir an önce hayata geçirilmesi yüksek önem teşkil etmektedir.

Günümüzdeki pist temizleme yöntemleri incelendiğinde geleneksel yöntem olarak adlandırılan saha temizlik görevlileri tarafından uçuş pistleri temizlenmektedir. Geliştirilen proje ile zaman ve maliyetten tasarruf edilerek havaalanlarında iniş ve kalkış yapan hava araçları için emniyetli bir ortam, geleneksel yöntemlere göre daha verimli bir şekilde sağlanacaktır.

Bu proje ile yüksek doğrulukta yabancı maddelerin tespitini yaparak havaalanlarında bulunan pistlerin temizlenmesini sağlanacaktır. Bu süreçte derin öğrenme algoritmaları

kullanılarak gerçek zamanlı görüntüler üzerinde yabancı madde tespit eden yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım, yüksek teknoloji ile üretilmiş otonom gezen robota entegre edilmiştir. Bu robot üzerinde çalışacak yazılım ile pist üzerindeki yabancı maddelerin konumu ve şekilleri merkezi kontrol yazılımına bildirilmektedir.

Ayrıca bu proje ile ulusal pazarda benzeri olmayan yeni bir ürün geliştirilmiştir. Yine araştırmalarımız üzerine bu projenin uluslararası pazarda benzeri olmadığı tespit edilmiştir. (Ulusal ve uluslararası pazarda radar sistemleri kullanılarak yabancı madde tespiti yapılabilmektedir.) Geliştirilen proje ile hedefimiz ulusal pazara çözüm getirip uzun vadede uluslararası pazarda yer almak olacaktır. Ayrıca bu proje kapsamında araştırma ve geliştirme çalışmalarının tamamı proje ekibi tarafından gerçekleştirilmiştir. Projenin ilgili olduğu konuda, yabancı madde tespiti için görüntü tabanlı bir yaklaşım kullanılarak, yöntem içerisinde, derin öğrenme algoritmaları ve temel görüntü işleme algoritmaları uygulandı. Geliştirdiğimiz ürün için günümüzün uluslararası düzeyde en güncel teknolojileri kullanıldı. Kullandığımız yüksek düzeyde teknoloji ile en verimli ve performanslı ürünü çıkarmayı hedefledik. Bu proje sonunda proje çıktısının üretilmesi ve geliştirilmesi için gereken teknolojinin ülkemize kazandırılarak mevcut bulunduğu alanda yenilikçi bir ürünün ülkemizin havacılık sektörüne kazandırılması planlandı.

II. GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ

A. Görüntü İşleme Yazılımı (YOLO v4)

Görüntü işleme yazılımı, projemizin ana odak konusudur. Amaç, pist üzerindeki tanımlanamayan veya istenmeyen maddeleri tespit etmek olduğundan, görüntü işleme algoritmalarını kullanmayı tercih ettik.

Araştırmalarımız sonucunda ilk olarak YOLO (You Look Only Once) algoritmasını kullanma kararını verdik. Kısaltmanın anlamı olarak, YOLO sadece bir kez bakmaktır. Görüntüleri parça parça işleyen diğer algoritmalarından farklı olarak, YOLO tüm görüntüyü alır ve bu görüntüyü aynı anda işlemek için tek bir evrimsel ağ kullanır. [1, 3, 4]

YOLO algoritmasını kullanmak için öncelikle kendimize bir veri seti oluşturmak üzerine çalışmalarda bulunduk. YOLO'nun projemizdeki performansını gözlemlemek için pist üzerinde olabilecek yabancı maddelerden biri olan vidanın tespiti üzerine deneyler yaptık. Bu deneylerde vidanın yaklaşık 400 tane farklı fotoğrafını veri seti olarak kullandık. Bu süreçten sonra, YOLOv4'ü özel veri kümemiz üzerinde eğittik. YOLOv4 ile model eğitimi Google Colab üzerinde gerçekleştirdik. Eğittiğimiz model, vida olarak kullandığımız test verilerinde %88,89 doğrulukla çalıştı

B. Görüntü İşleme Yazılımı (OpenCV)

YOLO algoritması eğitilmiş veri seti üzerinde yüksek hassasiyette çalışmaktadır. Bunun yanı sıra açık kaynak olan OpenCV [8] kütüphanesini de kullanmaya karar verdik. Google destekli, çok güçlü bir bilgisayarlı görü kütüphanesi olan OpenCV'yi yazılımımızın hassasiyetini arttırmak için kullandık.

OpenCV'de, bizim için iyi çalışan birçok görüntü işleme yöntemini araştırıp test ettikten sonra, araştırma ve geliştirmemizde arka plan çıkarma algoritmalarına ve belirginlik tespiti algoritmalarına odaklandık.

Bu algoritmalar belirginliği tespit etmek için hareketli nesnelerin sabit arka plandan çıkarılmasına dayanır. Madde tespit yazılımımızı bu yaklaşımdan ilham alarak ve tam tersi gibi çalışacak şekilde geliştirdik. Dolayısıyla, arka plan çıkarma versiyonumuzda, kamerayı gezici bir robotla hareket ettirdiğimiz için, yerdeki nesne hareket etmese bile, nesne resimde belirginliğe neden olur. Kamera hareket ederken, herhangi bir olası nesnenin arka planı değişmez, bu nedenle arka planımız kalır, ancak nesne değişir. Çünkü robot nesneye yaklaşır ve yazılımımız onu nesnenin kendisi hareket ediyormuş gibi algılar. Uyguladığımız bu tekniği kısaca özetlersek, OpenCV'de yer alan yöntemlerden oluşan arka plan çıkarma yöntemi sadece sabit kamera ile çalışırken geliştirdiğimiz aynı renkli arka plan yaklaşımı sayesinde artık hareketli kameralar ile birlikte çalışabiliyoruz.

C. Mesafe Tespit Yazılımı (LIDAR Kullanarak)

Belirli bir mesafedeki nesneleri tespit etmek için bir LIDAR sensörü kullandık. LIDAR, nesnelerin konumunu veya hareketini algılayan ve bir radara benzer şekilde çalışan, ancak mikrodalgalar yerine lazer radyasyonu kullanan bir sensördür. Bu projede LIDAR Mesafe Sensörü kullanarak asfalt üzerindeki maddelerin yakınlığına göre verdiği sinyalleri yorumlamayı hedefledik.

LIDAR ile yabancı madde tespiti yapan yazılımımızda uçuş pisti ile LIDAR sensörü arasındaki mesafeye bir eşik değeri atandı. Robot pisti gezerken, LIDAR'ın taradığı alana yabancı bir madde girdiğinde okunacak değer eşik değerinden daha küçük olacağından, taranan bölgede bir yabancı madde bulunduğu bilgisinin, merkezi kontrol yazılımına gönderilmesi sağlandı.



Şekil 1. LIDAR Mesafe Sensörü

D. Merkezi Kontrol Yazılımı

Merkezi kontrol yazılımı, uçuş sahasında seyahat ederken robot tarafından tespit edilen yabancı maddelerin yetkili personele bildirilmesi için kullanılacak yazılımdır. Bu yazılımda uçuş alanında bulunan maddelerin harita üzerinde

işaretlendiği ve bu parçaların adı, şekli, boyutu, tespit tarihi gibi bilgilerin rapor edildiği bir arayüz de olacaktır.

E. Mobil Kontrol Yazılımı

Mobil kontrol yazılımı, uçuş sahasında gezen robot tarafından tespit edilen maddelerin yetkili personele bildirilmesi için kullanılan yazılımdır. Dart programlama dilinde Flutter Framework kullanılarak platformlar arası (IOS, Android) yazılım geliştirdik. Bu yazılım ile uçuş alanındaki yabancı maddeler harita üzerinde işaretlenir ve bu maddelerin konumu, boyutu, tespit tarihi gibi bilgilere erişilir. Gezen robot ile mobil kontrol yazılımı arasındaki iletişim bulut tabanlı bir hizmetle sağlanmıştır. Bu uygulama sayesinde yetkili personele uçuş alanında tespit edilen nesneleri kontrol edebilecekleri bir raporlama özelliği sağlanmıştır. Kontrol yazılımın ekran görüntüsü Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu şekilde, tespit edilen maddeler harita üzerinde kırmızı ikonlar ile işaretlenmiştir. Ayrıca, arayüzün alt kısmındaki alanda, tespit edilen maddeler ile ilgili boyut, tespit tarihi ve konum gibi bilgiler görülmektedir.



Şekil 2. Mobil Kontrol Yazılım Arayüzü

F. Otonom Gezen Robot

Projemizde yabancı maddelerin tespiti için pist üzerinde otonom bir şekilde gezebilen robota ihtiyaç duyuldu. Bunun üzerine öncelikle açık kaynak kodlu ArduRover [2] yazılımı incelendi. Bu platformu kullanabilmek için gerekli donanımlar araştırıldı.

Araştırma sonucunda bu platformun proje gereksinimleri ile tam uyuşmadığı tespit edildi ve ekip olarak kendi otonom sürüş algoritmamızı geliştirdik. Geliştirilen algoritma ile robot, verilen parametreler doğrultusunda belirli bir alanı otonom bir şekilde tarayabiliyor. Ayrıca pist üzerinden çıkmadan otonom bir şekilde yabancı madde tarama özelliği kazandırıldı.



Şekil 3. Otonom Gezen Robot

Şekil-3'te robot [6] üzerinde bulunan kamera ve LIDAR sayesinde alınan görüntü ve mesafe verisi Jetson NANO geliştirme kartına aktarılarak yüksek doğrulukta yabancı madde tespiti yapılmaktadır.

III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

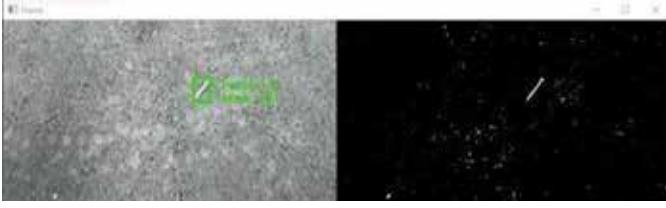
YOLO'yu, uçuş pistine düşmesi muhtemel yabancı maddelerden oluşan özel veri kümemiz ile eğittik. Şekil 4' de, eğittiğimiz modeli vida nesnesi üzerinde test ederken aldığımız sonuçlar görülmektedir.



Şekil 4. Eğitilmiş Veri Setinden Elde Edilen Sonuçlar

İkinci olarak, OpenCV kütüphanesindeki kontur algılama ve arka plan çıkarma algoritmaları kullanıldı. Bu algoritmalar, görüntüdeki statik arka planı çıkararak bu arka plan üzerinde

nesne olup olmadığını söyleyecek şekilde düzenlendi. Şekil 5’de, düzenlenen algoritmaların verdiği sonuçlar görülmektedir.



Şekil 5. Arka Plan Çıkarma ve Kontur Algılama Yöntemi Örneği

Üçüncü olarak, LIDAR sensör ile madde tespiti için geliştirilen yazılımın 0.5cm ve daha büyük yüksekliğe sahip maddelerde yüksek doğrulukta çalıştığı görüldü. 0.5 cm’den küçük maddeler için görüntü işleme yazılımıyla birlikte çalışacak şekilde düzenlendi. Daha fazla alan taranabilmesi için LIDAR, bir servo motora entegre edildi.

Sonuç olarak, yapılan çalışmalarda OpenCV kütüphanesi, YoloV4 algoritması ve LIDAR sensör kullanarak yabancı maddeleri tespit etmeyi hedefledik. YoloV4 algoritmasını kullanabilmek için uçuş pistindeki rastlanabilecek yabancı maddeleri önceden eğiterek veri seti oluşturma gereksinimi vardır. YoloV4 algoritması eğitilmiş maddeler için verimli çalışsa da, proje kapsamında, uçuş pistinde önceden tahmin edilemeyecek maddeler de bulunabilir. Bu nedenle, OpenCV kütüphanesindeki kontur algılama ve arka plan çıkarma algoritmaları kullanarak nesne sınıflandırması yapmaksızın genel olarak her türlü maddeyi tespit edebileceğimiz bir yazılım geliştirdik. Bu yazılıma LIDAR sensörü ile madde tespit etme işlemini de entegre ettik. Bu çalışmalar sonucunda, proje kapsamında hedeflenen “Yüksek doğrulukta yabancı madde tespiti” konusunu, OpenCV kütüphaneleri ve LIDAR sensör kullanarak, gezen robot üzerine yabancı madde tespiti yazılımını entegre ederek, raporlama kısmında mobil uygulama geliştirerek sonuçlandırdık.

IV. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ’A OLASI KATKISI

A. Ekibin Kazanımları

“Yüksek Doğrulukta Yabancı Madde Tespiti” konulu projemizi gerçekleştirilirken ekip olarak endüstriyel bir çözüm ortaya koymaya çalıştık. Bu kapsamda proje ekibi olarak sanayi odaklı bir ürünün sıfırdan nasıl geliştirilebileceği konusunda deneyim kazanmış olduk ve sonuç olarak ortaya uçtan uca bir çözüm çıkardık. Üniversitemizde öğrendiğimiz teorik bilgileri TUSAŞ bünyesinde gerçek hayatta, pratikte kullanmış olduk.

Ekip olarak ayrıca proje kapsamında çalışırken robotik, machine learning ve görüntü işleme alanlarında kendimizi geliştirdik. Güncel ve yüksek teknoloji çağında bu konu başlıkları ile çalışmak ekibimize vizyon katmış ve gelecek zaman üzerinde hangi konularla çalışmamız gerektiği üzerine fikir sahibi olmamızı sağlamıştır.

B. TUSAŞ’a Olası Katkısı

Yüksek doğrulukla yabancı madde tespiti yapabilen görüntü işleme yazılımımızı robota entegre ederek ortaya çıkardığımız çözümü, Türk Havacılık ve Uzay sanayisine kazandırmak istemekteyiz. Ar-Ge projemizi, ekibimizin önceki deneyimleri ve sektör bilgisi sayesinde, ileri safhalarda geliştirebilir ve proje adına büyük değer yaratacak bulut/mobil çözümler ile tam entegre hale getirmeyi planlamaktayız. Bu sayede, uçuş pistlerinde gerçekleşen kazaların büyük ölçüde önüne geçeceğimizi ve dolayısıyla bu alandaki harcamaları ve iş gücünü azaltarak her anlamda maliyeti düşüreceğimizi öngörmekteyiz.

V. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu proje kapsamında çalışma yaparken öncelikle kendi veri setlerimizi eğiterek yabancı maddeler sınıflandırılıp tespit edilmek istenmiştir. Fakat çalıştığımız Jetson Nano platformunda bu algoritmaları kullanmak performans kaybına neden olmuştur. Geldiğimiz bu noktada platformu değiştiremeyeceğimiz için kullandığımız algoritmayı değiştirerek OpenCV açık kaynak kütüphanesinde bulunan background subtraction metotlarını kullanarak performansı ve hassasiyeti yüksek bir yabancı madde tespiti yazılımı elde ettik.

Kullandığımız platform demo amaçlı düşünüldüğünden sistem gereksinimlerini asgari düzeyde karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sebeple robotun kontrol yazılımı yarı otonom bir şekilde hareket edebilecek kapasitede üretilmiştir. Mevcut robot ile belirli ve küçük bir alanda yabancı madde tespiti yapılabilir ve bulunduğu maddeleri merkezi kontrol yazılımı aracılığı ile mobil terminallere bildirebilmekteyiz. Projeye devam edilmek ve geliştirilmek istendiği takdirde platform değiştirilerek Sürü Otonom Hareket özelliği kazandırılmış birden fazla robot ile hem yabancı maddenin tespiti hem de tespit edilen maddenin ortadan kaldırılması gibi özellikler kazandırılabilir.

Geliştirilecek yeni platform, mevcut projede kullanılan sistemlerden daha büyük ve daha performansı yüksek olacaktır. Bu sayede uçuş pisti boydan boya çok kısa süre içinde sürü otonom araçlar ile taranıp temizlenebilir. Gelecek çalışmalar yüksek lisans projesi olarak ele alınıp TUSAŞ’a hem sürü otonom robot kabiliyeti kazandırılabilir hem de geliştirmeler sonucunda ortaya ticari bir ürün konulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. Ocak 29, 2021, <https://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf>
- [2] Rover Home - Rover Documentation, Ocak 29, 2021, ardupilot.org/rover/
- [3] YOLO (You Only Look Once), Ocak 29, 2021, towardsdatascience.com/yolo-you-only-look-once-17f9280a47b0
- [4] Real-Time Object Detection with YOLO, Ocak 29, 2021, <https://towardsdatascience.com/real-time-object-detection-with-yolo-9dc039a2596b>
- [5] RCNN , YOLO-OpenCV ile Nesne Tanıma, Ocak 29, 2021, <https://medium.com/operations-management-t%C3%BCrkiye/rcnn-yolo-opencv-ile-nesne-tan%C4%B1ma-fa3856e69fb3>

- [6] JetBot AI Robot Car, Nisan 5, 2021,
<http://www.yahboom.net/study/JETBOT>
- [7] YOLO Algoritmasını Anlamak, Mayıs 15, 2021,
<https://medium.com/deep-learning-turkiye/yolo-algoritmas%C4%B1n%C4%B1-anlamak-290f2152808f>
- [8] Open Source Computer Vision Library, Mayıs 18, 2021,
<https://github.com/opencv>

Türkiye’deki Sivil İHA Pazarı Öngörülleri

Civil UAV Market Forecasts in Turkey

Muhammed Buğrahan Hatiboğlu
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
bgrhnhtbgl@gmail.com

Furkan Altındağ
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Üniversite
İşletme
Ankara, Türkiye
furkanaltundag@outlook.com

Ahmet Nadir Şaka
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
ahmetnadirsaka@gmail.com

Melike Gürbüz
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik
Ankara, Türkiye
melikegurbuz9897@gmail.com

Yasemin Türkmen
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik
Ankara, Türkiye
yaseminturkmen498@gmail.com

Rafet Aktas
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
raktas@ybu.edu.tr

Selen Yılmaz
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Pazar Analizleri Şefi
Ankara, Türkiye
seyilmaz@tai.com.tr

Özetçe— İnsansız hava araçlarının günümüzde oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olması onları sürekli geliştirilen bir araç haline dönüştürmektedir. Her alanda farklı kullanımları olabilen ve kullanım farklılığına göre kendi sektörünü oluşturabilen bir potansiyeli taşırlar. Özellikle son yıllarda İHA’ların faaliyet alanlarının genişlemesi onların hareket alanlarını hiç olmadığı kadar artırmıştır. Sözgelimi sivil kullanımda hayatın her alanına nüfuz etmeye başlayan İHA’lar, gün geçtikçe yeni araştırmaların konusu olmaya devam etmektedir. İHA’lar konusunda ülkemizde ve dünyada olan biten gelişmeler her geçen gün artarken bu araçlar geleceğin dünyasında ciddi bir yer edinecektir. Bu çalışma, İHA’ların sivil kullanım alanlarını detaylıca incelerken Türkiye için pazar öngörüsünde bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler — insansız hava araçları, sivil kullanım, pazar öngörüsü.

Abstract—The fact that unmanned aerial vehicles have a very common usage area today turns them into a vehicle that is constantly being developed. They have a potential that can have different uses in every field and can create their own sector according to the difference in use. Especially in recent years, the expansion of the field of activity of UAVs has increased their range of action like never before. For example, UAVs, which have begun to penetrate all areas of life in civilian use, continue to be the subject of new researches day by day. While the developments in our country and the world regarding UAVs are increasing day by day, these vehicles will gain a serious place in the world of the future. While this study examines the civil usage areas of UAVs in detail, it makes a market forecasting for Turkey.

Keywords — unmanned aerial vehicle, civil use, market forecasting.

I. PROBLEM TANIMI

Bir asır öncesine kadar insansız hava araçları havadan istihbarat sağlayabilen basit bir fikir olarak kullanılırken günümüzde çeşitli kabiliyetlere sahip yüksek teknolojiye bir uçan nesne olarak hem sivil alanda hem de askeri alanda varlığını sürdürmektedir. İHA’lar gün geçtikçe daha sofistike bir hale gelmiş ve hayatın her alanına nüfuz etmeye başlamıştır. Askeri kullanımda gittikçe yaygınlaşması ve birçok önemli görevde kullanılması ülkelerin de bu araçlara daha çok yönelmesini sağlamıştır. 2000’li yılların başlarına kadar hep askeri alanda kullanılmış olan bu araçlar 2006 yılında yaşanan bir kasırga sonucunda Federal Havacılık İdaresi’nin (FAA) MQ-1 Predator’un kullanımı için sertifika çıkarmasıyla sivil hayatta yerlerini almaya başlamışlardır. 2010 yılına doğru pek çok firmanın taşımacılık gibi alanlarda İHA’ları kullanmaya başlayacağını duyurması ve DJI gibi firmaların da İHA’ları sivil kullanıma uygun hale getirmesi bu araçları toplum içinde yaygınlaştırmıştır. Sivil hayatta da yaygınlaşması ile beraber istihbarat, gözetim, hedef edinme ve keşif gibi görevlerin yanı sıra tarımda, madencilikte, arama & kurtarma ve taşımacılık gibi çeşitli alanlarda faaliyet göstermeye başlamıştır.

İHA’ların yükselişi, küresel iş dünyasını, toplumu ve hükümetleri sürekli olarak değiştirmektedir. Bugünün İHA’ları basit görevleri ifa ederken, yarın günlük hayatta çok daha önemli görevlerde kullanılmaya başlanacaktır. Son yıllarda İHA’ların karmaşık sistemlerin bir parçası olmasından dolayı FAA bu araçları genel olarak UAS (İnsansız Havacılık Sistemleri) adında yer kontrol istasyonu, haberleşme ve navigasyon sistemleri ve veri alışverişi gibi sistemlerle beraber

tanımlanmaktadır [1]. Bu durum da günümüzde İHA'ların daha yaygın kullanım alanları olmasını açıklar niteliktedir. Pandemiden önce sivil İHA'ların en fazla kullanıldığı sektörler; emlak ve inşaat, fotogrametri, film/hava fotoğrafçılığı, tarım ve havadan izleme olarak sıralanırken Pandeminin ortaya çıkışıyla beraber kullanım alanları çeşitlenmiştir. İnsan temasını en aza indirmeyi amaçlayan firmalar, verimlilik ve işgücü güvenliği sağlamak amacıyla, tıbbi malzeme teslimi, karantina kontrolü, bilgilendirme, alanların dezenfekte edilmesi, vücut sıcaklığının ölçülmesi, tarım alanlarının bakımı ve kontrolü, veri toplama gibi konularda İHA'lardan faydalanmıştır. Bununla beraber, sivil İHA'ların fotoğrafçılık veya izleme gibi temel görevleri dışında, ağır işgücü gerektiren sistemlerin verimsizliklerinin giderilmesi, sınırlamaların açığa çıkardığı özerk sistemlere malların teslim edilmesi, kritik altyapı incelemeleri, kamu güvenliğini sağlama becerilerinin iyileştirilmesinde ve birçok sektörün tedarik zincirinde sınırların kapalı olmasından kaynaklanan aksaklıkların giderilmesinde kullanılmıştır. Pazar açısından incelemek gerekirse, Avascent ve AIA analizlerine göre [3], 2036 yılına kadar büyük insansız hava araçlarına olan harcamaların 150 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Ek olarak, Avascent'in analizine göre 2028'e kadar bu harcamaların 4 milyar dolara ulaşması öngörüldükten 2036 yılında ise bu rakamın yaklaşık 30 milyar dolara yükseleceği tahmin edilmektedir [3]. Bu durum da pazarın gelecekte daha da genişleyeceğini gözler önüne sermektedir.

Türkiye İHA üretiminde askeri alanda küresel pazarın önde gelen ülkelerinden biridir. Sivil İHA kullanımının yaygınlaşması adına ülkemizdeki çeşitli firmalar tarafından çalışmalar yürütülmektedir. Bu firmaların ürettiği İHA'lerden bazıları TUSAŞ ANKA ve AKSUNGUR, Baykar Bayraktar Akıncı ve TB-2, Vestel Karayel, STM Kargu şeklinde sıralanabilir. Geldiğimiz noktada her boyutta ve kapasitede sayısız çeşidi bulunan bir araç haline gelmesi sebebiyle çalışmanın konusu olacak İHA'ların bir sınıflandırmaya tabi tutulması ve ilerleyen sayfalarda bu sınıflandırmaya göre analiz yapılması daha doğru olacaktır. Bu kapsamda üretim yapan ALTINAY'ın 50-75 kg taşıyabilen ALBATROS isimli İHA'sı yük taşıma, itfaiye, ambulans ilk yardım gibi amaçlarla kullanılmakta birlikte araştırmanın konusuna bir örnek oluşturmaktadır [5]. Sektörel açıdan incelediğimizde araştırmanın konusu olmayan Mikro İHA'ların Türkiye'deki sivil amaçlı kullanım alanları, madencilik, haritacılık, inşaat sektörü, enerji, tarım ve emlak sektörlerinde yoğunlaşmaktadır. Pazar açısından sınıflandırma yapılmaksızın 2018 yılında Türkiye'nin İHA pazar büyüklüğü 30 milyon dolara ulaşırken [4] bu araçların ülkemiz pazarında da bir geleceği olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda çalışmamız sivil İHA'ların mevcut kullanım alanlarını eleştirel bir bakış açısıyla ele alırken, sektörün pazar analizini sunmakta ve Türkiye'deki sivil İHA kullanımı açısından bir değerlendirme yapmaktadır.

II. GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ

Çalışmanın konusuna dahil olan İHA'ların tespiti yapılmış olup dünyadaki modeller ve sınıflandırmalar detaylı olarak incelenmeye çalışılmıştır. Buna bağlı olarak hem akademik çalışmaların hem de önemli kurumların sınıflandırmaları esas alınarak araştırmanın konusu olabilecek özellikteki modeller belirlenmeye çalışılmış ve tablodaki gibi yeniden adlandırılmıştır.

TABLO I. İHA ÖZELLİKLERİ

Kategori	İHA Özellikleri		
	Faydalı Yük (kg)	Veri Bağlantı Mesafesi (link)	Seyir Süresi
Mikro İHA	<5	5-10 km	1 saat
Yakın Mesafe İHA (YMİHA)	<150	10-30 km	2-4 saat
Kısa Mesafe İHA (KMİHA)	<200	30-70 km	3-6 saat
Orta Mesafe İHA	150-500	70-200 km	6-10 saat
MALE	500-1500	<500 km	12-48 saat
HALE	2.500-12.500	>2.000	24-48 saat

Sonrasında dünyadaki teknolojik gelişmelerin ışığında hangi alanlarda ne tür İHA'ların kullanıldığı yapılan sınıflandırmaya göre incelenmiştir. Buna bağlı olarak tarımda, haritalamada, doğal afetlerde, arama kurtarma, çevre koruma, madencilik, deniz ve uzay araştırmaları ve taşıma sistemleri gibi alanlardaki faaliyetler derlenmeye çalışılmıştır. Daha sonrasında tüm dünyadaki pazar Covid-19 öncesi ve sonrası gözden geçirilerek pazarın gelecekte nereye gittiği konusunda veriler bir araya getirilmiştir. Sonraki aşamada dünyada önde gelen kuruluşların (FAA, NASA, UBER) güncel çalışmaları ve akıllı ulaşım sistemleri, insansız trafik yönetimi ve pilotsuz İHA'lar gibi gelecek çalışmaları incelenmiştir. Son olarak Türkiye için kullanım alanlarında eksik kalmış ve gelecekte önemli olabileceği düşünülen alanlarda yeni fikirler ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu fikirler nitel talep tahmin yöntemi ile dönemlere ayrıştırılmış ve yapılan tahminlerin tutarlılığı güncel gelişmeler ile sürekli olarak takip edilmiştir. Bu doğrultuda fikirlerin çeşitlendirilmesi yapılmış ve doğrulukları teyit edilmiştir.

III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

Sürekli genişleyen bir pazar olması bakımından gelecekte pek çok yerde ve farklı görevlerde İHA'ların kullanımının olacağını söyleyebilirken ülkemizde de talep açısından her geçen gün daha çok karşılık görebileceğini düşünmekteyiz. Bu çalışmada, insansız hava araçlarının son dönemlerde hangi alanlarda nasıl kullanıldıklarını eleştirel bir yaklaşımla ele alınmış, pandemi öncesi ve sonrası pazar durumuna göre

Türkiye için gelecek öngörülerine dair bir değerlendirme sunulmuştur. Çalışmaya göre fırsatlar ve tehditler açısından birkaç önemli sonuca varılmıştır;

İlk olarak, dünya genelinde halihazırda görev yapan modellerin kullanıldıkları alanlara göre yetersiz veya çok aşırı kaldığı görülmüştür. Bu durum hem kullanım alışkanlıkları anlamında hem de mevzuat anlamında bir tehdit olarak karşımızda dururken, spesifik alanlar (tarım, haritalama, gözlem, arama & kurtarma vb.) için özel olarak üretilen bir İHA'nın pazarda önemli bir fırsat oluşturacağı düşüncesindeyiz. Bu bağlamda Mikro İHA ve MALE sınıfı arasında yer alan orta sınıf bir modelin eksikliği dünyada neredeyse her kullanım alanında karşımıza çıkan önemli bir nokta olmuştur.

İkinci olarak, pazarda sürekli bir büyüme olduğu saptanmış ve bu durumun pazara yeni girmek isteyen oyuncular açısından bir fırsat unsuru olduğu saptanmıştır. Tehdit unsuru olarak Porter'in beş güç modelinde belirlediği gibi [2] pazara yeni girenlerin oluşturduğu tehlikeyi söyleyebiliriz. Her ülkenin kendine göre farklı seviyelerde İHA çalışmalarının olması TUSAŞ'ın bu oyuncuları ve hatta ülkeleri hafife almadan stratejik ve rekabetin yoğunluğunu düzenleyici olarak ilerlemeleri gerektiğini düşünmekteyiz. Sürekli hacmi artan ve talep alanı genişleyen bir pazar olarak; gelecekte gerekli olabilecek KMİHA ve YMIHA gibi modellerin üretimini, satış sonrası hizmetlerin geliştirilmesini ve mümkünse portatif parçalarla kullanım amaçlarına göre dönüştürülebilir olmalarının talebin seyrini belirlemede olumlu bir etki yaratacağını düşünürken yeni giren tehditlerine karşı iyi bir yöntem olabileceğini görüşüyoruz.

Üçüncü olarak, dünyada yapılan çalışmalarda öngörülen modellerin geleceğin akıllı şehirlerinde çok daha yaygın hale geleceğini öngörmekteyiz. NASA'nın geliştirmekte olduğu UTM sistemi aslında İHA'ların şehir hayatına sağlıklı ve sistematik bir şekilde entegre olmasının bir diğer adıdır. Bu fırsat TUSAŞ tarafından dikkatle incelenmeli ve gelecekte akıllı şehir hayatında değişmez bir yeri olacak olan modellerin geliştirilmesi ve kullanımına uygun alanların inşa edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda raporda sunulan kullanım alanlarının geleceğin şehirlerinde yeri olduğunu ve hayatın değişmez unsurları olabileceklerini düşünüyoruz. Bu konuda altyapının ve teknolojik uygunlukların sağlanması önemli görülmüştür.

Son olarak, Türkiye'de mevcut kullanım alanları açısından birçok fırsat olabileceği görülmüştür. İlk olarak, birinci maddede değindiğimiz gibi tarım alanında çiftçilere sulama, ilaçlama ve bunun gibi konularda yardımcı olacak orta sınıf bir İHA bulunmamaktadır. Mevcut kullanımda olan İHA'lar ya çok büyük alanları sulamak için ya da çok küçük alanlardaki ekinler için kullanılabilir. Ancak bunun ortası hem daha az maliyetli hem de üreticilerin kullanımına uygun olurken ülkemiz açısından yeraltı sularının hor kullanılması sonucu oluşan obrukların da önüne geçmede bir adım olabilir. Sağlık sektöründe ise sürekli genişleyen ve trafiğin esir aldığı bölgeler başta olmak üzere, acil taşımacılığı bütünüyle

İHA'lar gerçekleştirebilirler. Ayrıca Türkiye'nin engebeli olması ve farklı hava şartlarında bazı bölgelere kara ulaşımının kesilmesi İHA'ların devreye girmesiyle çözülebilecek bir sorundur. Öte yandan taşımacılık hususunda yakın yerlerde veya ulaşımı zor olan yerlerde karayolu yerine havayolu kullanılabilir. Karayolunun engebeli yerlerdeki maliyetlerini düşürsek havayolu en iyi seçenek olduğu görüşündeyiz. Sonuç olarak, tüm bu ve buna benzer uygulamaların ülkemiz pazarında karşılık bulabileceğini ve dünyada kullanım açısından bir örnek olabileceğini ortaya koyduğunu düşünmekteyiz.

IV. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLAN KATKISI

Yapılan çalışma sonucunda, sektördeki eksikliklerin ve gelişmelerin yapıcı olarak incelenmesi, pazar analizlerinin nasıl yapılması gerektiği ve elde edilen verilere göre gelecek hakkında öngöründe bulunulmasını tecrübe ederken talep tahmini yöntemlerini uygulamayı ve bunun takibini yapmayı öğrendik.

Bu çalışma pazarın mevcut durumunu ve potansiyelini incelerken halihazırda eksik olan ve gelecekteki olası kullanım alanlarını TUSAŞ'a sunmaktadır.

V. GELECEK ÇALIŞMALARI

Çalışmada değinilen konular genel olarak dünyanın ve ülkemizin geleceğini ilgilendirirken çeşitli ülkeler ve firmalar yoğun bir şekilde farklı alanlarda çalışmaya devam etmektedir. Gelecekte bu araçların ülkemizde hangi şehirlerde ve nasıl kullanılabileceğinin tespiti, taşımacılık konusunda kurulabilecek ağların saptanması ve test uygulamaların hayata geçmesi, mevzuatların değerlendirip toplumsal tepkilerin ne olacağı ve İHA'larda hangi portatif parçaların kullanılabileceğine dair araştırmalar gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yiğit, E., Yazar, İ., Karakoç, T. (2018). İnsansız Hava Araçlarının Kapsamlı Sınıflandırması ve Gelecek Perspektifi. *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3 (1), 10-19. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/suhad/issue/44810/557335>
- [2] Porter, M. E. "How Competitive Forces Shape Strategy." *Harvard Business Review* 57, no. 2 (March–April 1979): 137–145
- [3] Avascent, Aerospace Industries Association (2018), Think Bigger: Large Unmanned Systems and the Next Major Shift in Aviation, aiaaerospace.org, avascent.com
- [4] Yeşilay, R. B., & Macit, A. (2020). Dünyada ve Türkiye'de Drone Ekonomisi: Geleceğe Yönelik Beklentiler. *Beykoz Akademi Dergisi*, 239–251. <https://doi.org/10.14514/Byk.M.26515393.2020.8/1.239-251>
- [5] M. (2020, November 13). Altınay Albatros Kargo İHA. [Millisavunma.com](http://www.millisavunma.com). <http://www.millisavunma.com/altinay-albatros-kargo-ihai/>

Küçük Sınıf Yolcu Uçağı Pazarı

Narrow Body Passenger Aircraft Market

Yasemin Türkmen
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik
Ankara, Türkiye
yaseminturkmen498@gmail.com

Muhammed Buğrahan Hatiboğlu
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
bgrhnhtbgl@gmail.com

Melike Gürbüz
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Uluslararası Ticaret ve İşletmecilik
Ankara, Türkiye
melikegurbuz9897@gmail.com

Ahmet Nadir Şaka
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
ahmetnadirsaka@gmail.com

Furkan Altındağ
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
furkanaltindag@outlook.com

Rafet Aktaş
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
İşletme
Ankara, Türkiye
raktas@ybu.edu.tr

Selen Yılmaz
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
A.Ş.
Pazar Analizleri Şefi
Ankara, Türkiye
seyilmaz@tai.com.tr

Özetçe— Bu çalışmada 100-150 kişilik, turboprop veya jet motorlu küçük sınıf yolcu uçağı pazarı incelenmiş, güncel gelişmeler ve Covid-19 sonrası havacılık sektörüyle ilgili öngörüler göz önünde bulundurularak, bu pazara yeni bir oyuncu olarak girme hususunun değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler — havacılık sektörü, covid-19 etkisi, küçük jet ve dar gövdeli uçak.

Abstract— This study examines the 100–150 seater, turboprop or jet engine small class passenger aircraft market, and considering the current developments and predictions about the aviation sector after Covid-19, the issue of entering this market as a new player has been evaluated.

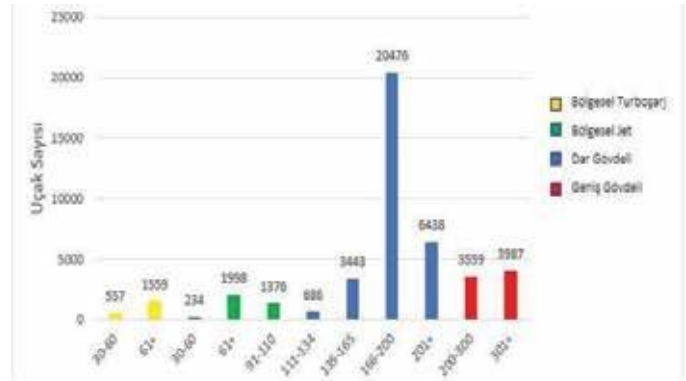
Keywords — aviation industry, covid-19 impact, small jet and narrow body plane aircraft.

I. GİRİŞ

Covid-19 Pandemisi dünya havacılık sektöründe sayısal olarak büyük ekonomik kayıplara yol açmıştır. Yaşanılan bu süreçte ülkelerin kısıtlamaları ve vatandaşların yolculuk etme durumlarının olamamasından dolayı yolcu sayılarında düşüşler yaşanmıştır. 2019 yılında dünyada yıllık 4,7 milyar yolcu varken 2020 yılında Pandemi nedeniyle bu sayı 1,7 milyara kadar düşmüştür [1]. Diğer bir yandan ise uçuş sayıları da geçmiş yıllara göre azalmış ve havayolu şirketlerinin işletme gelirlerinde önemli ölçüde düşüş yaşanmıştır. Örneğin 2019'da Avrupa'da yaklaşık 11 milyon uçuş gerçekleşirken 2020 yılına gelindiğinde bu sayı yaklaşık 4,8 milyona kadar gerilemiştir [2]. Ayrıca dünya genelinde havayolları, ICAO'nun raporuna göre 2020 yılında yaklaşık olarak 370 milyar dolar mali kayıp yaşamıştır [1]. Ayrıca küçük ve büyük çapta uçak üreticilerinin geçmiş yıllara göre siparişlerinde azalma meydana gelmiş bazı siparişler de iptal

edilmiştir. Kısaca, genel anlamda havacılık sektörü büyük sektöre uğramıştır.

Bu dönemde uluslararası uçuşlardan daha az zarar gören ülke içi uçuşlara bakıldığında bu uçuşların genelinde dar gövdeli olan nispeten daha küçük uçakların kullanıldığı gözlenmektedir. Ayrıca Boeing, Airbus gibi önemli uçak imalatçısı firmaların teslim edilen siparişlerine göz atıldığında dar gövdeli uçakların diğer büyük gövde uçaklara göre daha fazla teslim edildiği görülmekte, Airbus'ın yapmış olduğu teslimatlara bakıldığında pandemiden en az etkilenen uçak siparişlerinin A220 ve A320 olduğu göze çarpmaktadır [3]. Bu durumun nedeni olarak şirketlerin pandeminin etkisini en hafif şekilde atlatmak için yakıt verimliliği ve işletme masrafları açısından dar gövdeli uçaklara yönelim olduğu söylenilebilir. Bu nedenle Şekil 1'de görüldüğü gibi gelecekte de dar gövdeli uçaklara olan talebin artması beklenmektedir [4],[5].



Şekil. 1. 2019-2038 Yolcu Uçağı Talep Tahmini

Tüm bu bilgiler ışığında, bu çalışmada ekonomik olarak gelişmiş bölgelerin yolcu ve uçuş sayıları temelinde geçmiş pandemi öncesi ve pandemi sürecinde olan yolcu sayıları karşılaştırmalı olarak inceleme konusu yapılmıştır. Öncelikle Türkiye havacılık sektörü incelenmiş, havacılık sektöründe mevcut durum analizi yapılamaya çalışılmış, pandemi nedeniyle ortaya çıkan ve devam edeceği öngörülen mevcut/muhtemel sorunlar belirlenmiştir. Daha sonra çözüm önerileri perspektifinden hareketle TUSAŞ'ın piyasaya yeni bir oyuncu olarak girme stratejisi değerlendirilmiştir.

II. GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER

Projede gerçekleştirilen faaliyetler iki aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada, konuyla ilgili yerli ve yabancı literatür taraması yapılmıştır, firmaların öngörü raporları ve istatistiksel veri tabanları incelenmiştir. Pazarın genel analizi yapılırken hem üretici perspektifinden hem de yolcu pazarı perspektifinden dünya pazarı bölgesel anlamda incelenmiştir. Pandemi öncesi ve sonrasındaki durumlar ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Sektördeki problemler ve bu problemlere çözüm olarak geliştirilen politikalar gerek küresel gerek Türkiye açısından incelenmiş, konuyla ilgili değerlendirme ve çözüm önerileri geliştirilmeye çalışılmıştır. Sonrasında Türkiye pazarı açısından inceleme gerçekleştirilmiş ve bu bağlamda küçük sınıf yolcu uçağının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Son aşamada da literatür taramasında elde edilen bulgular TUSAŞ'ın küçük sınıf yolcu uçağı pazarına güçlü bir aktör olarak yer alması hususları değerlendirme konusu yapılmıştır.

III. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

2020 yılından günümüze pandemiden kaynaklı olarak havacılık sektörüne sektörel ilişkili paydaşların olumsuz etkilendikleri gözlemlenmektedir. IATA, A4A ve Eurocontrol'un öngörüsüne göre sektörün en iyi ihtimalle 2024 yılında toparlanması beklenmektedir [6], [7]. Bu kapsamda yapılacak yatırımların 2024 yılında gerçekleşeceği öngörülen beklentiler dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir.

Dünyada gerçekleştirilen uçuşlar incelendiğinde, bölgesel uçuşların kıtalararası uçuşlara göre daha büyük bir paya sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bölgesel uçuşların diplomatik ilişkiler, kur farkları gibi makro etkilerden uzak mesafeli uçuşlara göre daha az etkileniyor olması bunun en büyük sebeplerinden biridir. Pandemi sürecinde bölgesel uçuşların, uzak mesafeli uçuşlara göre çok daha hızlı toparlanması bu fikri destekler niteliktedir.

Bölgesel uçuşlarda genellikle dar gövdeli ve jet uçağı modelleri kullanılmaktadır. Yakıt tüketimi açısından daha verimli olması, bakım/onarım konusunda geniş gövdeli uçaklara göre daha az maliyetli olması ve boyutlarının geniş gövdeli uçaklara göre çok daha makul olarak kabul edilmesi dar gövdeli uçakların bölgesel uçuşlar için sıkça tercih edilmesinin en temel nedenlerinden birkaçı olarak sıralanabilir. Pandemi sürecine baktığımız zaman dar gövdeli uçaklara olan talebin diğer modellere göre çok daha az oranda düşüş gösteriyor olması firmaların dar gövdeli uçakları çok daha işlevsel olarak gördüklerinin bir göstergesidir. Ayrıca bölgesel

uçuşlarda kullanılan dar gövdeli uçakların bilet fiyatı açısından tüketiciye daha uygun fiyatlar sunabiliyor olması, havacılık sektöründe hızla artan orta sınıf tüketici için işi cazip kılan başka bir durumdur.

Türkiye gibi bölgesel uçuş potansiyeli yüksek olan, aktarma uçuşlar için merkez konumuna sahip bir ülke için dar gövdeli uçaklar diğer pek çok ülkeye göre çok daha fazla potansiyel kullanım ortaya çıkarmaktadır. Jeopolitik konumu itibarıyla uluslararası uçuşlar için bir kavşak noktasında olması ve dünyanın en önemli merkezlerine yakın olması bölgesel uçuşlar için oldukça önemlidir.

Ülkemiz genelinde 55 havalimanı bulunması hava trafiğini iç hatlarda ve dış hatlarda etkin bir şekilde kullanılmasına bir altyapı sağlamaktadır. Ülkemizin engebeli bir coğrafyada olması, tren yollarının çok gelişmemiş olması ve karayolunun çok yoğun olması ancak bunun da ulaşım süresini artırması gibi sebepler havacılık sektörüne fırsat sağlamaktadır. Tüm bunlara ilave olarak ülkemizde pazara yeni bir oyuncu olarak girilmesi konusunda aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır;

- Uçak üretiminde ve geliştirilmesinde belirli bir sermaye yoğunluğuna sahip olunması gerekliliği,
- Devlet tarafından yakın mesafelere daha çok bölgesel havalimanları kurulması ve bu şehirler arasında küçük sınıf yolcu uçaklarıyla charter uçuşların gerçekleştirilebilmesi gerekliliği,
- Projenin gerçekleştirilmesi için tüm paydaşların etkin katkılarının sağlanması hususu, özellikle belediyelerin yeni bölgesel havalimanlarının kurulacağı yerler için bir inisiyatif alması ve gerekli düzenlemelerin yapılması,
- Maliyet düşüren uygulamaların planlanması ve bakım/onarım hizmetlerinin tek bir firma tarafından sağlanması,
- Finansal açıdan devletin vergi ve yatırım indirimi, konaklama veya zarar etmeme gibi Türkiye şartlarına en uygun koşulların düzenlenmesi,
- Aynı anda hem yolcu hem de kargo taşıyabilen uçakların dizayn edilmesi ve eğer uçak sadece yolcu taşımak için dizayn edildiyse, kargo uçağına dönüştürülme maliyetinin azaltılması.

IV. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLASI OLASI KATKISI

Bu projeyi gerçekleştirirken ekip olarak gerek profesyonel gerekse sosyal açıdan birçok kazanım elde ettik.

Havacılık sektörü konusunda kapsamlı bilgiye sahip olduk. Covid-19'un önemli bir olumsuz bir etki bıraktığı havacılık sektöründeki zararın ekonomik ve sayısal boyuttaki çıktılarının şirketlere olan etkileri daha iyi anlaşılmıştır. Gelecekte yaşanabilecek böylesi tehlikelerin ne denli zararlı olduğu daha da pekiştirilmiştir. Havacılık sektöründe Türkiye'nin mevcut konumu öğrenilmiş ve gelecekteki konumu hakkındaki öngörüler anlaşılmıştır. Pazar analizi konusunda ve mevcut

verilerden yola çıkarak potansiyel pazarlara yönelik öngörülerde bulunma gibi konularda tecrübe kazanılmıştır.

Sanayi danışmanımız ve mentorumuzla birlikte yaptığımız toplantılar sonucu iş disiplini kazanılmıştır. İşletme öğrencileri olarak mezun olmadan önce dahil olduğumuz bu proje bize iş hayatında yapabileceklerimiz konusunda tecrübe kazanmamıza olanak sağlamıştır. Bu proje mesleki yeterliliklerimizi geliştirmek açısından bizlere yarar sağlamıştır. Bu proje ile birlikte kurum – öğrenci bazında araştırmaların nasıl yapıldığı, nasıl bir iletişim sağlandığı tecrübe edinilmiştir ve büyük bir kurum ile birlikte çalışmanın güzel hissiyatları hissedilmiştir.

Bu çalışma 100-150 kişilik, turboprop veya jet motorlu küçük sınıf yolcu uçağı pazarı incelemiş, güncel gelişmeler ve Covid-19 sonrası havacılık sektörüyle ilgili öngörüler göz önünde bulundurularak, bu pazara yeni bir oyuncu olarak girme hususunun değerlendirilmesi yapılmıştır.

V. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen verilere göre, oluşabilecek krizlere karşı her zaman hazırlıklı olunması gerektiğini, bu tür dönemlerin kimi sektörü kötü etkilerken kimi sektörü de olumlu yönde etkilediğini tecrübe edindik. Mevcut bulunan kaynağın farklı amaçlarla kullanılabileceğini öğrendik.

Buna göre gelecekte, Türkiye için mevcut bölgesel havaalanlarının geliştirilmesi, havayolu şirketlerinin sayısı artırılarak iç hatların yoğunluğunu artırılması, üretilecek uçakların daha çevreci ve daha az yakıt tüketen modeller için detaylıca araştırılma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Economic Impacts of COVID-19 on Civil Aviation. Icao.int. (2021). Erişim Tarihi: 1 Haziran 2021. <https://www.icao.int/sustainability/Pages/Economic-Impacts-of-COVID-19.aspx>. Eurocontrol. COVID-19 impact on the European air traffic network. Erişim tarihi: 25 Mayıs 2020
- [2] Eurocontrol. Five-Year Forecast 2020-2024 European Flight Movements and Service Units Three Scenarios for Recovery from COVID-19. Kasım 2020. Erişim Tarihi: 15 Mart 2021 <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-11/eurocontrol-five-year-forecast-europe-2020-2024.pdf>
- [3] Airbus 2020 Deliveries Demonstrate Resilience. Airbus. Ocak 2021. Erişim Tarihi: 15 Mayıs 2021. <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2021/01/airbus-2020-deliveries-demonstrate-resilience.html>
- [4] N. A. Volgina and E. S. Kidun (2021). Global Civil Aircraft Industry: Modern Trends. Modern Global Economic System: Evolutional Development vs. Revolutionary Leap. Springer.
- [5] UAC Review 2019. https://uacrussia.ru/upload/market_outlook/Market_Outlook_Rus.pdf Erişim Tarihi: 24 Mayıs 2021

- [6] Tracking The Impacts of Covid-19, Airlines For America. Erişim Tarihi 30 Mayıs 2021. <https://www.airlines.org/dataset/impact-of-covid19-data-updates/#>

- [7] Economic Performance of the Airline Industry. (2020). IATA. Erişim Tarihi: 16 Ocak 2021, <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance---november-2020---report/>

Kuş Çarpmasına Karşı Kanat Hücum Kenarı Tasarımı

Wing Leading Edge Design Against to Bird Strike

Selim Gök
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Makine Mühendisliği
Ankara, Türkiye
selimgok33@gmail.com

Ahmet Gülüdağı
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Makine Mühendisliği
Ankara, Türkiye
ahmet.guldagi@hotmail.com

Zehra Toprak
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Makine Mühendisliği
Ankara, Türkiye
zehraatopraak@gmail.com

Fahrettin Öztürk
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Makine Mühendisliği
Ankara, Türkiye
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay
Sanayii A.Ş.
Ankara, Türkiye
fahrettin71@gmail.com

Bilge Aziz Coğuz
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay
Sanayii A.Ş.
Ankara, Türkiye
bcoguz@tai.com.tr

Mustafa Hakan Gülseven
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
Makine Mühendisliği
Ankara, Türkiye
mustafahakangulseven@gmail.com

Erhan Çiftçi
TUSAŞ – Türk Havacılık ve Uzay
Sanayii A.Ş.
Ankara, Türkiye
eciftci@tai.com.tr

Özetçe—İnsanlar gökyüzünü kuşlarla paylaşmaya başladığından beri, kuş çarpmaları havacılık endüstrisinde büyük bir sorun haline gelmiştir. Bu çalışma, bir kuşun kanat hücum kenarına çarptığında, hücum kenarının bu durumu minimum hasarla atlattığını sağlayan çeşitli geometri tasarımları sunmaktadır. Öncelikle kuşun modeli belirlenmiştir. Kuşun modellenmesinde hidrodinamik parçacık yöntemi tercih edilmiştir. Özellikle, kuş katı malzemelerden farklı davrandığından, kuşun çarpma anında davranışını daha iyi tanımlamak için durum denklemleri kullanılmıştır. Kuşun modellenmesinden sonra, kanat hücum kenarının malzemesi, çarpma anındaki malzeme davranışını yüksek hızda gösteren Johnson-Cook malzeme modeli kullanılarak modellenmiştir.

Geçmişte önerilen kuş geometrileri incelenmiş ve elips kuş modelinin deneydeki verilere daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak, geçmiş çalışmalarda en sık kullanılan ve önerilen geometri olması sebebiyle iki ucu yarı küresel silindirik modeli bu çalışma sürecinde kullanılmıştır.

Literatürde daha önce yapılmış bir kuş çarpması testinin deneysel verileri kullanılarak yapılan analiz çalışmalarının sonuçları karşılaştırılarak modellerin doğrulama çalışması yapılmıştır. Çalışma sonunda çeşitli geometri ve malzemelerden oluşan hücum kenarları için analiz sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak optimizasyon çalışması yapılarak kütle ve hasar temelinde en uygun tasarım seçilmiştir.

Sonuçlar, performans gereksinimleri olan kütle ve deformasyon için en önemli parametrelerin tasarım geometrisi ve yüzey kalınlığı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler — kuş çarpması, optimizasyon, hidrodinamik parçacık yöntemi, hücum kenarı.

Abstract—Bird strikes have become a major problem in the aviation industry since people began to share the sky with birds. This study offers a variety of geometry designs in which the leading edge can emerge this situation with minimal damage if a bird strikes the wing leading edge. First of all, the model of the bird is determined. The Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) method is preferred for modeling the bird. In particular, the Gruneisen Equation of State (EOS) is used to better describe the behavior of the bird at the time of impact, as the bird behaves differently from solid materials. After modeling the bird, the material of the wing leading edge is modeled using the Johnson Cook material model, which demonstrates the material behavior at the time of impact at high speed.

The bird geometries proposed in the past are studied and it is observed that the ellipsoid model gave closer results to the experimental data, however, since the hemispherical-ended cylinder model is the most used and recommended geometry in the past studies, the hemispherical-ended cylinder model is used in the study process.

A verification study of the models is carried out by comparing the results of the analysis studies made using the experimental data of a bird strike test conducted before in the literature. At the end of the study, an optimization study is made using the data obtained from the analysis results for these leading edges consisting of various geometries and materials, and the most suitable is selected.

Results indicate that the most important parameters for the mass and deformation, which are the performance requirements, are the design geometry and the skin thickness.

Keywords — bird strike, optimization, SPH, leading edge.

I. GİRİŞ

Havacılık alanında ciddi bir öneme sahip olan kuş çarpması, mühendisler ve bilim adamları tarafından sürekli takip edilmekte ve çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Bu durum önemli can kayıplarına ve uçaklarda ciddi maddi hasara neden olmaktadır. Bahsedilen zararları en aza indirmek ve havada bu etkiyi önlemek için ciddi çalışmalar yapılmaktadır. ABD'ye kayıtlı uçaklardan 1990 ile 2019 yılları arasında FAA'ya bildirilen kuş çarpması ABD içinde 227045 ve ABD dışında 4275'tir [1]. Şekil 1, rapor edilen kuş çarpmalarının sayısını göstermektedir. Şekil 1'e bakıldığında, kuş çarpmalarında yıllar içinde ciddi bir artış olduğu görülmektedir. 1990 yılında rapor edilen kuş çarpması vaka sayısı 1850 iken 2019 yılında rapor edilen kuş çarpması sayısı 17228 olmuştur. Kuş çarpması olaylarının maliyeti 1990 ile 2019 yılları arasında rapor edilen rakam 900 milyon dolardır [1]. Bildirilmeyen maliyetler ve kuş çarpmaları göz önüne alındığında, yıllık maliyetin 500 milyon \$ kadar yüksek olduğu tahmin edilmektedir [2]. Dünya çapında bu kaybın 1,2 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir [3]. Ayrıca 1988-2019 yılları arasında kuş çarpması sonucu 292 kişi hayatını kaybetmiştir. Bu maddi ve manevi kayıplara baktığımızda kuş çarpmalarının ne kadar önemli olabileceği bir kez daha görülmektedir. Bu nedenle bu kazaların önlenmesi için uçak üreticilerine ve havalimanı işletmecilerine büyük sorumluluklar düşmektedir.



Şekil 1. ABD'ye Kayıtlı Uçakların ABD İçerisinde ve Dışında 1990-2019 Yılları Arasında Rapor Edilen Kuş Çarpması Vakaları [5]

Kuş çarpması olaylarında, uçakların farklı bileşenlerinde farklı oranlarda hasar kaydedilmiştir. Boeing'in istatistiklerine göre, Şekil 2'de gösterildiği gibi kuş çarpmalarının %75'i motorlarda ve kanatlarda görülmüştür [4]. Uçak kanatlarının kuş çarpmasından en az hasarla çıkmasını sağlamak için kanat tasarımlarında farklı tasarımlar üzerine çalışılmaktadır.

Kanat, uçağın kalkış ve inişini sağlayan elektronik bileşenlerin, hidrolik yapıların ve yakıt deposunun bulunduğu kısımdır. Kuş, çarpma durumunda yakıt deposuna ve elektronik bileşenlere zarar vermemelidir. Bu nedenlerle uçak üreticileri için sertifikasyon normları bulunmaktadır. CS 25.631'e göre büyük uçaklar, uçağın hızı deniz seviyesindeki tasarım seyir hızına veya 2438 m yükseklikte 0.85 Vc'ye eşit olduğunda 1.814 kg bir kuşa çarptıktan sonra uçağın güvenli uçuş ve iniş kabiliyetini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Normal kategorideki uçaklarda tüm yapılar için herhangi bir gereklilik yoktur. CS 23.775'e göre, her bir ön cam ve doğrudan pilotun önündeki destekleyici yapısı, uçağın hızı, uçağın maksimum yaklaşma flap hızına eşit olduğunda, 0.91 kg kuşa eşdeğer

darbeye dayanmalıdır. Uçuş emniyetini artırmak için kanat hücum kenarındaki hasarlar en aza indirilmelidir.



Şekil 2. Uçağın Farklı Kısımlarına Göre Kuş Çarpması Oranları [4]

II. YÖNTEM

A. Malzemeler ve Modeller

1) Model Kuş İçin Sonlu Elemanlar Yöntemleri

Çarpışma analizlerinde yaygın olarak kullanılan dört farklı sonlu elemanlar yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler; Lagrange Metodu, Euler Metodu, Değişken Lagrange-Euler Metodu (ALE) ve Hidrodinamik Parçacık Metodu'dur (SPH). Kuş çarpması analizlerinde, kuş modelleri katı ve sıvı karışımı olarak kabul edilmektedir. Lagrange Metodu genel olarak katı cisimlerin analizlerinde kullanılırken, Euler Metodu ise sıvı cisimlerin analizlerinde kullanılmaktadır. Bu yüzden, ALE Metodu ve SPH Metodu, kuş çarpması analizlerinde kullanılmaya en yatkın metotlardır ancak ALE metodu kullanım zorluğu sebebiyle tercih edilmemiştir. SPH metodu, kuş çarpması analizlerinde gerçeğe yakın sonuçlar veren ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. SPH'de her parçacığın kendi kütlesi, hızı ve stres oranı vardır. SPH yönteminin avantajları, ilk olarak, elemanların birbirine kenetlenmesini gerektirmemesi, böylece ağır birbirine karışmasını önlemesidir. İkinci olarak, ALE yönteminin aksine, çok fazla parametrenin dikkate alınmasını ve ayarlanmasını gerektirmez ve daha az karmaşıktır [5].

2) Model Kuşun Malzemesi

Kuş çarpmasını doğru analiz edebilmek için kuşun malzemesinin doğru modellenmesi gerekir. Gerçek kuşlar çoğunlukla su ve havadan oluşur. Kuş, yüksek çarpma hızlarında sıvı olarak hareket ettiğinden, kuş modeli için hidrodinamik malzeme modeli kullanılabilir [6]. Yapılan çalışmalarda kuş modelinin yoğunluğu 900 ile 950 kg/m³ arasında değişmektedir. Hidrodinamik modelleme için, oda sıcaklığındaki su parametreleriyle basınç-hacim ilişkisini tanımlayan bir durum denklemi tipik olarak kullanılır [7]. Kuş çarpması çalışmalarında polinom durum denklemi, tabloleştirilmiş durum denklemi, Murnaghan durum denklemi ve Gruneisen durum denklemi kullanılmıştır. Yapılan literatür çalışması sonucu kuş materyalinin modellenmesinde Gruneisen durum denklemi kullanılması kararlaştırılmıştır. Gruneisen durum denklemi, sıkıştırılmış malzeme için Denklem (1)'de ki ifade edilir [6],

$$P = \frac{\rho C^2 \mu [1 + \frac{1 - \gamma_0}{2} \mu - \frac{a}{2} \mu^2]}{[1 - (S_1 - 1)\mu - S_2 \mu + 1 - S_3 (\mu + 1)^2]} + (\gamma^0 + a\mu)E \quad (1)$$

ve genişleyen malzemeler için Denklem (2)'de ki gibi ifade edilir.

$$P = \rho_0 C_v^2 \mu + (\gamma_0 + a\mu)E \quad (2)$$

Su için, Gruneisen durum denklemindeki değerler $C_v=1480$ m/s, $S_1 = 1.92$, $S_2 = 0$ and $\gamma_0=0.1$ olarak kullanılmıştır.

3) Model Kuşun Geometrisi

Doğamızın güzelliklerinden biri olan kuşlar da diğer canlılar gibi çeşitli şekil ve geometrilere sahiptir. Kuşlar kemikler, akciğerler ve diğer karmaşık organlardan oluşur. Bu nedenle çarpma sırasında oluşacak yük, kuş türlerine göre farklılık gösterebilir. Bu nedenle, kuş etkisini analiz etmek için basitleştirilmiş geometriler geliştirilmiştir. Şekil 3'te görüldüğü gibi kuş çarpması analizinde iki ucu düz silindir (a), iki ucu yarı küresel silindir (b), elipsoit (c) ve küresel (d) şekiller kullanılmaktadır. Ayrıca, literatürde farklı geometrilerle yapılan deney sonuçları, yapılan analiz çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Kuş Çarpması Analizlerinde Sıkça Kullanılan Geometriler

4) Hedef Malzeme Yapısı

Mühendislikte kullanılan malzemelerin çoğu farklı özelliklere sahiptir. Kuş çarpması yüksek hızlarda gerçekleşen bir olaydır. Malzemelerin deformasyon sırasındaki davranışı gerinim oranına ve sıcaklığa bağlıdır. Bu davranışları doğru bir şekilde tanımlamak için çeşitli modeller geliştirilmiştir. Bu modeller incelendiğinde Johnson-Cook malzeme modeli, malzemelerin yüksek gerinim oranlarında davranışlarının tahmin edilmesine olanak sağlayan en yaygın yöntemlerden biridir.

Çeşitli yöntemler kullanılarak elde edilen Johnson-Cook parametreleri kuş çarpması analizinde malzeme modellenmesinde kullanılmaktadır. Çalışmada kullanılan farklı alüminyum alaşımları için hesaplanan Johnson-Cook malzeme modeli sabitleri Tablo I'de verilmiştir.

III. DENEY TASARIMI

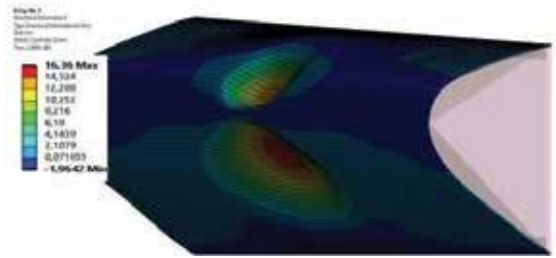
Kuş çarpması analizinde sistem birçok faktörden etkilenir. Faktör sayısı arttıkça gerekli deney sayısı artmakta ve uygulamalar zorlaşmaktadır. Kuş çarpması deneyinin tasarım aşamasında Taguchi Yöntemi kullanılmıştır. Böylece ön deney çalışmaları sonucunda deney sayısında önemli bir azalma gözlemlenmiştir. Bu deney tasarımının faktörleri ve seviyeleri Tablo II'de verilmiştir. Bu faktör ve seviyelere göre bir deney tasarımı yapılmış ve bu deney tasarımına göre analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz örneği Şekil 4'te verilmiştir.

TABLO I. ANALİZLERDE KULLANILAN MALZEMENİN ÖZELLİKLERİ

Parametreler	Al2024-T3 [9]	Al7050-T7451 [10]	Al7075-T6 [13]	Al6061-T6 [8]
Yoğunluk	2770	2830 [63]	2810 [14]	2700
İzotropik Esneklik				
Young Modülü	$7,308 \times 10^{10}$	$7,17 \times 10^{10}$	$7,17 \times 10^{10}$	$6,89 \times 10^{10}$
Poisson Oranı	0,33	0,33 [11]	0,33	0,33
Johnson Cook Malzeme Parametreleri				
İlk Akma Gerilimi, A	$3,69 \times 10^8$	$3,91 \times 10^8$	$5,46 \times 10^8$	$3,241 \times 10^8$
Sertlik Katsayısı, B	$6,84 \times 10^8$	$6,84 \times 10^8$	$6,78 \times 10^8$	$1,138 \times 10^8$
Sertleşme Üssü, N	0,73	0,436	0,71	0,42
Gerinim Oranı Sabiti, C	0,0083	0,00959	0,024	0,002
Termal Yumuşama Üssü, m	1,7	2	1,56	1,34
Erim Sıcaklığı, t_m	501,85	620 [12]	635	652
Ozisi, c_p	875	860	960	896
Hasar Parametresi 1, D1	0,31	0,71	-0,068	-0,77
Hasar Parametresi 2, D2	0,045	1,248	0,451	1,45
Hasar Parametresi 3, D3	1,7	-1,42	-0,952	0,47
Hasar Parametresi 4, D4	0,005	0,147	0,036	0
Hasar Parametresi 5, D5	0	0	0,697	1,6

TABLO II. DENEY TASARIMININ FAKTÖRLERİ VE SEVİYELERİ

Faktörler	Leveller					
	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Hücum Kenarı Tasarımları						
Kabuk Malzemesi	Al2024-T3		Al7075-T6		Al7050-T7451	
Destek Malzemesi	Al2024-T3		Al7075-T6		Al7050-T7451	
Kabuk Kalınlığı (mm)	1.2		1.4		1.6	
Destek Kalınlığı (mm)	0.6		0.8		1	

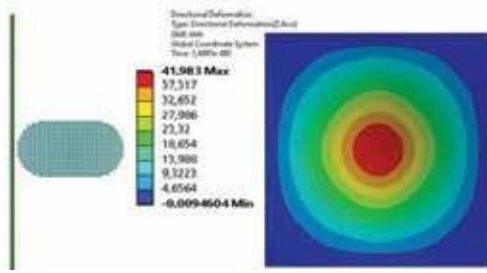


Şekil 4. Analiz Örneği

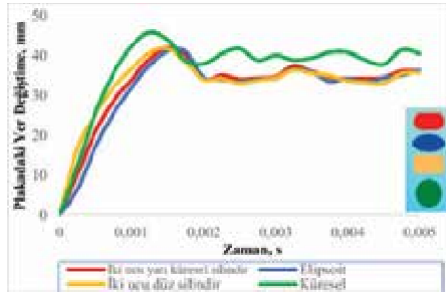
IV. KUŞ ÇARPMASI DOĞRULAMA ANALİZLERİ

Havacılıkta kullanılan karmaşık yapılar üzerinde kuş çarpması analizi yapılmadan önce, önceden yapılmış deneylerin sonuçları ile karşılaştırılarak doğrulanmalıdır. Bu karşılaştırma için basit düz plakalar ve rijit plakalar üzerinde yapılan kuş çarpması deneyleri incelenmiş ve analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Düz bir plaka üzerinde gerçekleştirilen bu

deneylerden biri de Welsh'in deneyidir [15]. Deneyde, Al6061-T6 hedef plakasına ölü bir tavuk ve jelatin kuş modeli ile deney gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda alüminyum levhanın orta noktasında uçuş yönündeki sapma incelenmiştir. Poola [16] ve Mav [17] da bu deneyi sayısal analizlerini doğrulamak için kullanmışlardır. Bu çalışmalarda, plakanın dört tarafında da sabit mesnetli bir sınır koşulu verilmiştir. Analizi kolaylaştırmak için, plaka her taraftan sabit desteklenmiştir. Deneyde, 6.35 mm kalınlıktaki plakaya 145.7 m/s hız ile fırlatılan kuş, plaka üzerinde maksimum 41.275 mm'lik bir yer değiştirmeye sebep olmuştur. Bu koşullar göz önüne alınarak Şekil 3'te verilen geometriler ile karşılaştırma çalışması yapılmıştır. İki ucu yarı küresel silindir modeli ile yapılan analiz Şekil 5'te verilmiştir. Ayrıca, farklı geometrideki modellerin plaka üzerindeki etkileri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil. 5. İki Ucu Yarı Küresel Silindir Kuş Modeli ile Yapılan Analiz



Şekil. 6. Farklı Geometriler ile Yapılan Kuş Çarpmasının Alüminyum Plaka Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmada elips geometrisine sahip kuş modelinin plaka üzerinde bıraktığı yer değiştirme miktarı 41,062 mm ile en yakın sonucu vermiştir. Şekil 6'da da görüldüğü üzere elips ve iki ucu yarı küresel şekle sahip kuş modellerinin plaka üzerinde bıraktıkları etkisi benzer davranış göstermektedir. Küre şeklindeki kuş modeli ise diğerlerine göre daha fazla yer değiştirmeye sebep olmuştur. Daha önceki çalışmalarda en çok kullanılan ve önerilen geometri iki ucu yarı küresel silindir geometrisi olduğundan sonraki çalışmalarda bu geometri kullanılmıştır.

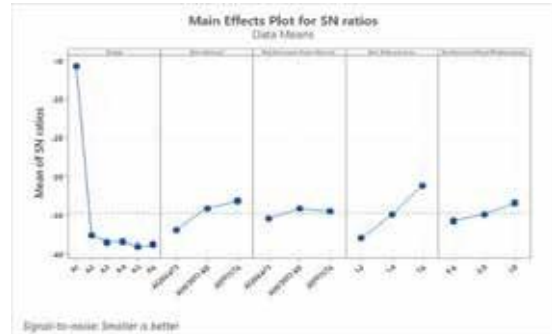
V. OPTİMUM TASARIMIN BELİRLENMESİ

Literatürde kuş çarpmalarına karşı farklı tasarımlar incelenmiş ve bu tasarımlar deney tasarımına dahil edilmiştir. Ayrıca hücum kenarı kaplamasının malzemesi ve kalınlığı ile giriş ile kaplama arasına yerleştirilen destek dikkate alınarak deney tasarımında faktörler ve seviyeler belirlenmiştir. Taguchi

Yöntemi'nde deney tasarımı yapmak için uygun ortogonal dizi seçilmiştir. Seçilen bu ortogonal dizi L18 ($6^1 1^3 3^6$) formatındadır. Tüm değişkenler dikkate alındığında analiz edilmesi gereken çok fazla durum olduğundan Taguchi Yöntemi kullanılmış ve analiz edilmesi gereken durum minimumda tutulmuş ve on sekiz farklı durum incelenmiştir. Çalışma sürecinde kuşun hızı 77,2 m/s olarak alınmıştır. Tüm deneylerin sonuçları sinyal-gürültü oranına göre incelenmiş ve istenen sonuç daha az kütle ve deformasyona göre belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre elde edilen sinyal-gürültü oranı sonuçları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 7, kütle için elde edilen grafiklerdir. Bu grafiğe göre, hücum kenarı için minimum kütle seviyesine, uygun tasarım geometrisi için A2, kaplama malzemesi için Al2024-T3, destek malzemesi için 7075-T6, yüzey kalınlığı için 1,2 mm ve destek kalınlığı için 0,6 mm kombinasyonu seçilerek ulaşılabilir. Grafikteki aralıklara bakıldığında kütle için en çok etkileyen faktörlerin tasarım, kaplama ve destek kalınlığı olduğu görülmektedir.



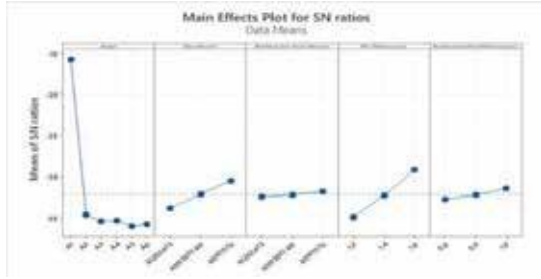
Şekil. 7. Kütle Karşı Tasarım, Dış Yüzey Malzemesi, Panel Malzemesi, Dış Yüzey Kalınlığı, Panel Kalınlığı için Sinyal-Gürültü Oranı



Şekil. 8. Hücum Kenar Kaplamasının Tasarımına, Kaplama Malzemesine, Panel Malzemesine, Kaplama Kalınlığına, Panel Kalınlığına Göre Yer Değiştirmesi için Sinyal-Gürültü Oranı

Kaplamada meydana gelen deformasyon için elde edilen sinyal-gürültü oranı grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Bu grafiğe göre uygun tasarım geometrisi için A1, kaplama malzemesi için Al7075-T6, destek malzemesi için Al7050-T7451, kaplama malzemesinin kalınlığı 1.6 mm ve destek malzemesinin kalınlığı 1 mm olan kombinasyon alınarak hücum kenarı kaplamasında oluşabilecek deformasyon en aza indirilebilir. Bu grafiğe bakıldığında deformasyona en çok etki eden faktörün tasarım ve kaplama kalınlığı olduğu görülmektedir.

Şekil 9, kütle ve yer değiştirme için elde edilen grafiklerdir. Bu grafiğe göre, her iki parametre için A1 tasarımı, kaplama malzemesi ve destek malzemesi Al7075-T6, kaplama kalınlığı için 1,6 mm ve destek kalınlığı için 1 mm kombinasyonu seçilerek en iyi performans elde edilebilir.



Şekil. 9. Tasarım, Dış Yüzey Malzemesi, Panel Malzemesi, Dış Yüzey Kalınlığı, Panel Kalınlığına Karşı Hücum Kenarı Kaplamasının Kütle ve Yer Değiştirme için Sinyal-Gürültü Oranı

VI. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLASI KATKISI

Yapılan proje sayesinde, proje ekibi uçak kanadı hücum kenarı tasarımı ve uçak kanadı hücum kenarına kuş çarpma analizleri hakkında bilgi ve deneyim sahibi olmuştur. Kuş çarpma analizlerinde kullanılması gereken denklemler ve yöntemler incelenmiş ve uygun denklem ve yöntemlerle modellemeler yapılarak Ansys LS-Dyna üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir. Taguchi Yöntemi ile analiz sonuçları optimize edilmiştir. Proje sonucunda, TUSAŞ'a Hürkuş kanadı hücum kenarı tasarımında kullanılabilecek örnek hücum kenarı tasarımları, malzeme ve kalınlık verileri ve bu verilere göre en optimum kombinasyonlar hakkında fikir verilmiştir.

VII. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu projede, kanat hücum kenarı için alüminyum malzemeler üzerine çalışma yapılmıştır. Günümüzde sıkça kullanılan kompozit malzemeler, kanat hücum kenarının kuş çarpmasına karşı incelenebilir. Bu analizlerde, kompozit katmanlarının açılarına göre bir optimizasyon çalışması yapılarak en uygun dizilim belirlenebilir. Ayrıca, bal peteği ve köpük malzemeler ile elde edilen sandviç yapılar da kütle ve performans açısından kuş çarpmasına karşı önemli yapılardır. Bu çekirdek malzemelerde kullanılan kaplama malzemesi de metal ve kompozit yapılar seçilerek davranışları incelenebilir. En son olarak kuş çarpmasında yapının ön gerilmeli olunca nasıl bir davranış sergileyeceği, kompozit malzemelerde delaminasyon modellemesi de yapılarak ve bir deney düzeneği kurularak yapılan analizlerin nasıl yakın sonuçlar verilebileceği incelenmelidir.

VIII. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu projede, uçak kanadının hücum kenarındaki kuş çarpmaları araştırılmıştır. Proje kapsamında geçmişten günümüze kuş çarpması alanında yapılan deneyler incelenmiş ve kullanılan yöntemler araştırılmıştır. Öncelikle düz alüminyum levha üzerinde yapılan deney, sonlu elemanlar

yöntemi ile incelenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırıldığında birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Bu inceleme sırasında geçmişte önerilen kuş geometrileri incelenmiş ve elipsoit modelinin daha gerçekçi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir fakat çalışma sürecinde iki ucu yarı küresel silindirik modeli kullanılmıştır. Kuşun modellenmesinde SPH yöntemi tercih edilmiştir. Geçmişte kanat hücum kenarlarının kuş çarpmalarından minimum hasarla ayrılmasını sağlamak için farklı tasarımlar yapılmıştır. Kaplama ve destek kalınlıkları, kaplama ve destek malzemeleri dikkate alınarak çeşitli tasarımlar için Taguchi Yöntemi ile bir deney tasarımı yapılmıştır. Bu deney tasarımı sonucunda en az kütle ve deformasyonu veren kombinasyon seçilmiştir.

BİLGİLENDİRME

Bu çalışma AYBÜ-TUSAŞ Bitirme Projesi ve TUBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Programı 2020-2021 kapsamında desteklenmiş ve yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Dolbeer, R. A., Begier, M. J., Miller, P. R., Weller, J. R., & Anderson, A. L. (2019). *Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States, 1990–2019* (Rep.). Federal Aviation Administration.
- [2] Frequently asked questions and answers. (2020, August 28). Retrieved February 24, 2021, from https://www.faa.gov/airports/airport_safety/wildlife/faq/
- [3] Allan, John R., "The Costs Of Bird Strikes And Bird Strike Prevention" (2000). Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations. 18.
- [4] Nicholson, R., & Reed, W. S. (2011). Strategies for Prevention of Bird Strike Events. *AERO*, (Issue 43 _Quarter 03)
- [5] Hedayati, R., & Ziaei-Rad, S. (2013). A new bird model and the effect of bird geometry in impacts from various orientations. *Aerospace Science and Technology*, 28(1), 9–20.
- [6] Hedayati, R., & Sadighi, M. (2016). Bird strike: An experimental, theoretical and numerical investigation. Amsterdam: Elsevier, WP Woodhead Publishing.
- [7] Heimbs, S. (2011). Computational methods for bird strike simulations: A review. *Computers & Structures*, 89(23–24), 2093–2112.
- [8] Sumesh, C. S., & Ramesh, A. (2018). Numerical Modelling and Optimization of Dry Orthogonal Turning of Al6061 T6 Alloy. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 62(3), 196–202.
- [9] Buyuk, M. (2013). Development of a tabulated thermo-viscoplastic material model with regularized failure for dynamic ductile failure prediction of structures under impact loading (Doctoral dissertation, The George Washington University).
- [10] Huang, X., Xu, J., Chen, M., & Ren, F. (2020). Finite element modeling of high-speed milling 7050-T7451 alloys. *Procedia Manufacturing*, 43, 471–478.
- [11] Aurrekoetxea, M., López de Lacalle, L. N., & Llanos, I. (2020). Machining Stresses and Initial Geometry on Bulk Residual Stresses Characterization by On-Machine Layer Removal. *Materials*, 13(6), 1445.
- [12] Aluminum 7050-T7451 Retrieved March 20 , 2021 <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=142262cf7fbc4c83917ca5c3d17df1ed>.
- [13] Brar, N. & Joshi, V. & Harris, B. (2009). Constitutive Model Constants for Al7075-T651 and Al7075-T6. AIP Conference Proceedings. 1195. 10.1063/1.3295300.
- [14] Velamakuri, N. S. C., Myers, O. J., & Wyatt, J. E. (2018). Numerical Analysis Conducted During the Study on the Impact of Tool-Chip Contact Time on the Shear Angle in Orthogonal Machining. *International Journal of Metallurgy and Metal Physics*, 3(1), 1–16.
- [15] Welsh, C., & Centonze, V. (1986). Aircraft Transparency Testing - Artificial Birds.
- [16] Poola, R. (2011). Bird Strike Impact Analysis of Vertical Stabilizer Structure Using Abaqus/Explicit.
- [17] Mav, R.K. (2014). Numerical Analysis of Bird Strike Damage on Composite Sandwich Structure Using Abaqus / Explicit.

Kompakt 15V İzoleli MIL-STD-461F Uyumlu DA - DA Dönüştürücü Tasarımı

Compact 15V Isolated MIL-STD-461F Compatible DC - DC Converter Design

Alper Üzüm
Bursa Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü
Bursa, Türkiye
170109014@ogrenci.btu.edu.tr

Halil İbrahim Özkan
Bursa Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü
Bursa, Türkiye
160109013@ogrenci.btu.edu.tr

Yusuf Yaşa
Bursa Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü
yusuf.yasa@btu.edu.tr

Sinan Kaya
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.
sinan.kaya@tai.com.tr

Özetçe—Bu çalışmada, 9V ~ 36V giriş gerilim aralığına sahip ve çıkış özellikleri 15V, 30W olan DA-DA dönüştürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarım gereksinimi olan izolasyon, çıkış gücü seviyesi ve kompakt yapı sebebiyle flyback devre topolojisi seçilmiştir. Avantajları nedeniyle Süreksiz mod (DCM) çalışma seçilmiş ve bu moda yönelik uygun kontrolcü belirlenerek tasarım oluşturulmuştur. Tasarım sonunda LTspice yazılımı ile benzetim çalışması yapılarak, temel anahtarlama frekansında ve harmoniklerinde oluşan iletim yolu gürültünün MIL-STD-461F elektromanyetik uyumluluğu incelenmiştir. Standart limitinin üzerinde olan gürültü için EMI filtresi tasarımı yapılmıştır. Bu sayede gürültü zayıflatması sağlanarak isterilere uygun hale getirilmiştir. Son olarak Altium Designer programı kullanılarak baskı devresi (PCB) yapılmış ve çalışma tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler — DA - DA dönüştürücü, elektromanyetik uyumluluk (EMC), EMI filtresi, Flyback, MIL-STD 461F.

Abstract—In this study, a DC-DC converter with the wide input voltage range of 9V ~ 36V and output characteristics of 15V, 30W has been designed. Flyback power topology has been chosen based on the requirements of isolation, output power level and compact structure. Due to its advantages, Discontinuous mode (DCM) operation was selected and the design was created by determining the appropriate controller for this mode. At the end of the design, by simulation with LTspice, electromagnetic compatibility of MIL-STD-461F for conducted noise at the fundamental switching frequency and harmonics were examined. An additional EMI filter has been designed for noise above limit conditions. Thus, conducted noise has been attenuated and made compliant with standards. Finally, the work has been completed by making a compact layout design using the Altium program.

Keywords — DC - DC Converter, electromagnetic compatibility (EMC), EMI filter, Flyback, MIL-STD-461F.

I. PROBLEM TANIMI

Gelişen teknolojiyle birlikte, savunma sanayii alanında yapılan çalışmalar çözüm önerilerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle havacılık alanında bulunan araçlarda, elektronik sistemlerin zorlu şartlarda kararlı çalışabilmesi için uygun askeri düzenlemelerin karşılanması gerekmektedir. Neredeyse tüm elektronik cihazların ihtiyaç duyduğu, farklı güç ve gerilim seviyelerini sağlamak amacıyla DA-DA dönüştürücüler sistemlerde oldukça önemli bir yer tutar. Askeri standartların bulunduğu projelerde isterilerin karşılanması kararlı ve doğru sistem yapısı bakımından ihtiyaç haline gelir. Olası durumlarda oluşabilecek sistem değişiklikleri, cihaz çalışma karakteristiğinde bozulmalar meydana getirebilir. Tasarım aşamasında bunların ön görülmesi ve bunun doğrultusunda devre elemanı seçiminin yapılması temel kriterler arasında yer alır.

Ayrıca verimlilikleri nedeniyle tercih edilen SMPS dönüştürücüler, yarı iletken anahtarların veya parazitik elemanların oluşturduğu, iletim ve ısıma yolu ile yayılan gürültülere neden olurlar. Bunun sonucunda oluşan bu gürültüler, sistemin kendi performansı yanında ortamda bulunan diğer cihazların çalışmasını da olumsuz yönde etkilememelidir. Bununla ilgili olarak elektromanyetik uyumluluk (EMC) standardı olarak bilinen MIL-STD-461F yönetmeliğine uygun biçimde cihazın oluşturacağı olası bozucu etkiler ortadan kaldırılmalıdır [1,2]. Proje gereksinimleri Tablo 1’de verilmiştir.

Verimlilik, kompakt yapı ve sağlanan güç değerlerine göre flyback topolojisi uygun bulunmuştur. Diğer izoleli DA-DA topolojilerine göre daha az eleman sayısına sahip olması ve kontrol kolaylığı flyback topolojisini avantajlı kılmaktadır.

TABLO I. PROJE GEREKSİNİMLERİ

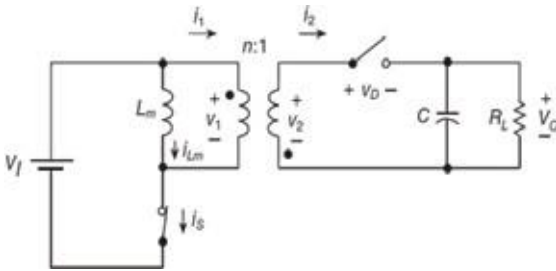
Özellikler	Değerler
Giriş Gerilim Aralığı	9V ~ 36V
Çıkış Gerilimi	15V
Çıkış Gücü	30W
Teknik	İzoleli (Giriş ve Çıkış) Kompakt MIL-STD-461F uyumlu

II. FLYBACK DEVRE TOPOLOJİSİ

Sıklıkla kullanılan bu izoleli SMPS güç topolojisi çalışma prensibi ve çalışma modları olarak incelenmiştir.

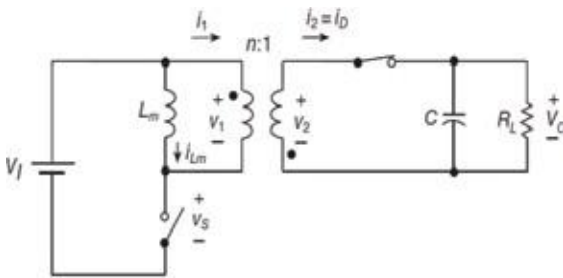
A. Çalışma Prensibi

Bu topoloji temelde buck – boost yapısının izoleli halidir. Flyback topolojisinde bulunan transformator izolasyon dışında ayrıca indüktör görevi görmektedir. Primer kısmında bulunan anahtar iletimdeyken basit flyback topolojisi Şekil 1’ de verilmiştir. Bu durumda mıknatıslama endüktansı L_m üzerinde enerji depolanmaktadır. Bu enerji sekonder üzerinde bir gerilim düşümü oluşturmakta fakat sekonder kesimde olduğundan manyetik enerji primerde tutulmaktadır [1,3].



Şekil 1. Primer Anahtarlama Elemanı İletimde [1]

Diğer durumda (Şekil 2) ise sekonderde bulunan anahtar iletimde ve primer anahtarı kesimdedir. Primerde bulunan enerji böylelikle sekondere aktarılmış olur [1,3].



Şekil 2. Sekonder Anahtarlama Elemanı İletimdeyken [1]

Temel olarak iki çalışma modu incelenmiştir. Bunlar mıknatıslama endüktansı L_m akımına göre Süreksiz Mod Çalışma (DCM) ve Sürekli Mod Çalışma (CCM) olarak adlandırılır [1,3].

B. Süreksiz (DCM) ve Sürekli (CCM) Mod Çalışma

Primer anahtarlama elemanının iletimde olduğu zaman diliminde transformatorün endüktans değerine bağlı olarak enerji depolanır. Süreksiz mod; anahtarlama elemanının kesimde olduğu süre sonuna kadar transformatorde depolanan enerji sonlanarak, akımın devamlı olmamasıdır. Sürekli modda; transformatorde depolanan enerji, periyodun sonuna kadar akım sağlamaktadır.

Tasarımın isterilerine göre çalışma modu seçilmelidir. Bu iki mod kıyaslandığında; sürekli modda yer alan transformatorün depoladığı enerji periyot sonuna kadar akım sağlaması gerektiği için, süreksiz akım modunda yer alan transformatorde kıyasla daha büyük olacaktır. Diğer yandan süreksiz modda transformator tarafından depolanan enerji sonlanacağından, çıkışa gerekli akımı ve gerilimi sağlayacak kondansatörün boyutu artmaktadır. Kompakt bir yapı için, tasarımda elde edilecek değerler üzerinden boyut karşılaştırması yapılmalıdır. Ayrıca süreksiz modda; primerde anahtarlama yapıldığı anda akım olmadığı için anahtarlama kayıpları daha az ve bunun bir diğer avantajı olarak devrenin anahtarlama frekansında üreteceği gürültü daha az olacaktır. Bütün bunların dikkate alınmasıyla birlikte süreksiz mod çalışma (DCM) yapısında DA-DA dönüştürücü tasarlanması uygun bulunmuştur [1].

III. GERÇEKLEŞTİRİLEN ARAŞTIRMA FAALİYETLERİ

Öncelikle tasarımda yer alan parametrelerin hesaplanması ve kullanılacak olan elemanların üzerinde oluşacak maksimum akım ve gerilim ifadeleri için, maksimum ve minimum transfer fonksiyon değerleri hesaplanmıştır. Diğer önemli nokta ise devrenin çalışacağı temel anahtarlama frekansdır. Yüksek frekanslarda; devrede kullanılacak elemanların boyutları küçülerek kompakt bir yapı kazandırılabilir. Buna karşın yarı iletken anahtarlama elemanı kayıpları artacaktır. Devrede kullanılacak transformatorün sahip olduğu mıknatıslama endüktansının (L_m) yanı sıra sarım oranı faktörü de sisteme doğrudan etki eder [4]. Bu sarım oranı, bir periyottaki doluluk oranını etkileyecektir. Buna bağlı olarak devre elemanlarının üzerinde oluşacak stresler ön görülebilmeli ve eleman seçimi bu stresler göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Primer anahtar ve sekonder diyot için tepe akım ve gerilim değerleri sırasıyla primer anahtar tepe akımı (1), tepe gerilimi (2) ve sekonder diyotun tepe akımı (3) ve gerilimi (4) olarak verilmiştir [1].

$$I_{SM} = i_{Lm(max)} = \Delta i_{Lm} = i_{Lm}(DT) = \frac{V_I DT}{L_m} = \frac{V_I D}{f_s L_m} \quad (1)$$

Maksimum giriş gerilimi 36V için $D_{min} = 0.147$ ve $f_s = 200\text{kHz}$ için $L_m = 2\mu\text{H}$ ise primer anahtarlardan geçecek tepe akımı $I_{SM(max)} = 13.23\text{A}$ olarak bulunur.

$$V_{SMmax} = V_{Imax} + nV_O \quad (2)$$

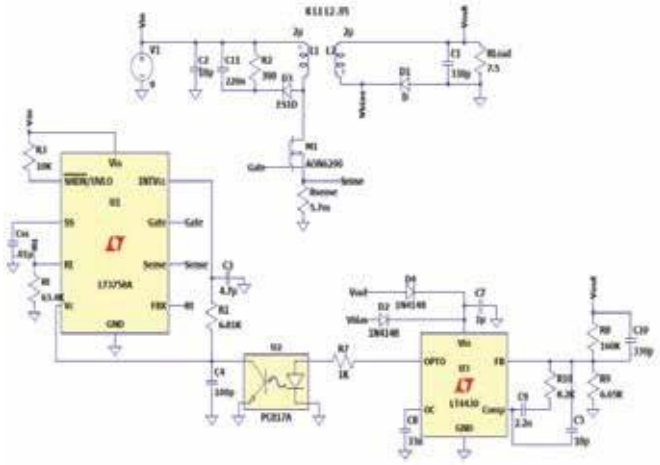
$n = 1$ için $V_{SM(max)} = 51\text{V}$ bulunur. Primer anahtar üzerinde oluşacak akım ve gerilim stresleri göz önünde bulundurularak eleman seçimi yapılmıştır.

$$I_{DM} = nI_{SM} = \frac{nV_I D}{f_s L_m} \quad (3)$$

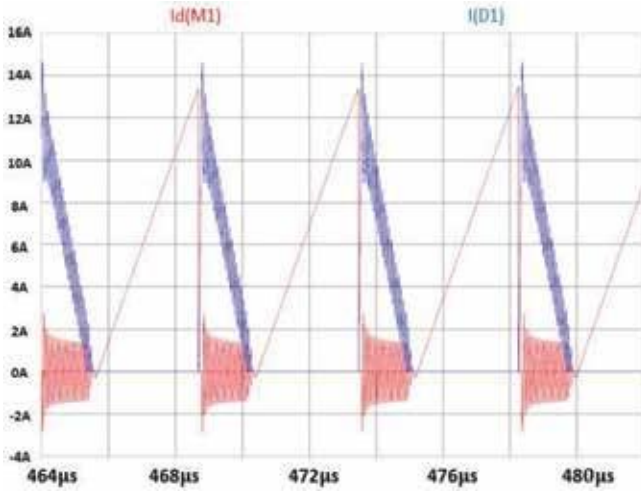
Sekonderde bulunan diyot için tepe akımı $n = 1$ olduğundan $I_{DM(max)} = 13.23\text{A}$ aynı şekilde $V_{DM(max)} = 51\text{V}$ olarak bulunur.

$$V_{DM(max)} = \frac{V_{Imax}}{n} + V_O \quad (4)$$

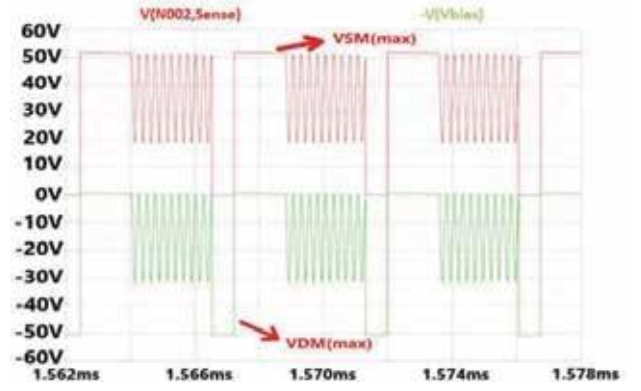
Şekil 3' te LTspice programında oluşturulan benzetim modeli LT3758A kullanılarak hazırlanmıştır [5]. Kullanılacak anahtarlama elemanı spice modelleri eklenmiştir. Transformatör kaçak endüktansı ve kapasitör ESR değerleri eklenmiştir. Geri besleme olarak çıkıştan alınan gerilim bilgisi optokuplör vasıtasıyla primerde bulunan kontrolcüye iletilmiştir. Devre verimliliği, kayıplar, diyot ve primer anahtarlarda kullanılan MOSFET için, gerilim ve akım dalga formları incelenmiştir. Sırasıyla MOSFET ve diyot akımları Şekil 4' te, gerilimleri ise Şekil 5' te verilmiştir. Hesaplanan tepe değerler benzetim modeli ile örtüştüğü görülmektedir. Devrede oluşan kayıplar genel olarak; primer yarı iletken anahtar kayıpları (anahtarlama ve iletim), diyot üzerinde harcanan güç, transformatör kayıpları (kaçak endüktans nedeniyle oluşan kayıplar ve bakır kayıpları) olarak gösterilebilir.



Şekil 3. Ltspice Benzetim Modeli



Şekil 4. MOSFET ve Diyot Akımları



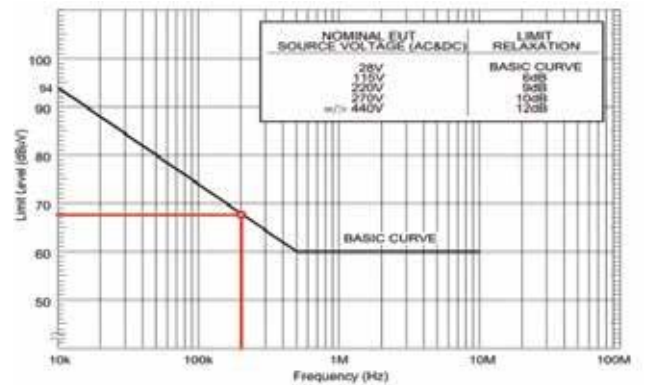
Şekil 5. MOSFET ve Diyot Gerilimleri

IV. ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK

DA-DA dönüştürücü tasarımının benzetim çalışmaları tamamlandıktan sonra cihazın parazitik elemanları ve anahtarlama elemanlarının spice modeli eklenerek gerçeğe yakın model oluşturulmuş ve hat empedans stabilizasyon ağı (LISN) üzerinden oluşan gürültü incelenmiştir [8]. Devrenin anahtarlama frekansı kaynaklı bozucu işaret üreten cihaz, aynı ortamda bulunan diğer cihazların çalışmasını olumsuz yönde etkileyebilir. Genelde bu problem aynı güç kaynağından beslenen cihazlarda iletkenlik yoluyla ve ayrıca cihazın yaydığı uzaysal ışıma sebebiyle meydana gelebilir. Oluşan iletim yolu elektromanyetik girişim (EMI) diferansiyel mod ve ortak mod olmak üzere temelde iki bölüme ayrılır. Diferansiyel mod gürültü akımları faz-nötr boyunca ilerler. Bu moddaki gürültü akımı genellikle ortak moddaki gürültü akımlarından daha yüksektir. Temel nedeni ise sistemdeki manyetik bileşenlerden kaynaklanır. Ortak mod gürültü akımları ise eşit büyüklükte ve aynı yöne hareket eder. Faz-toprak yolunu takip eder. Temel olarak ise elektriksel bağlaşım sonucu oluşur [2,7].

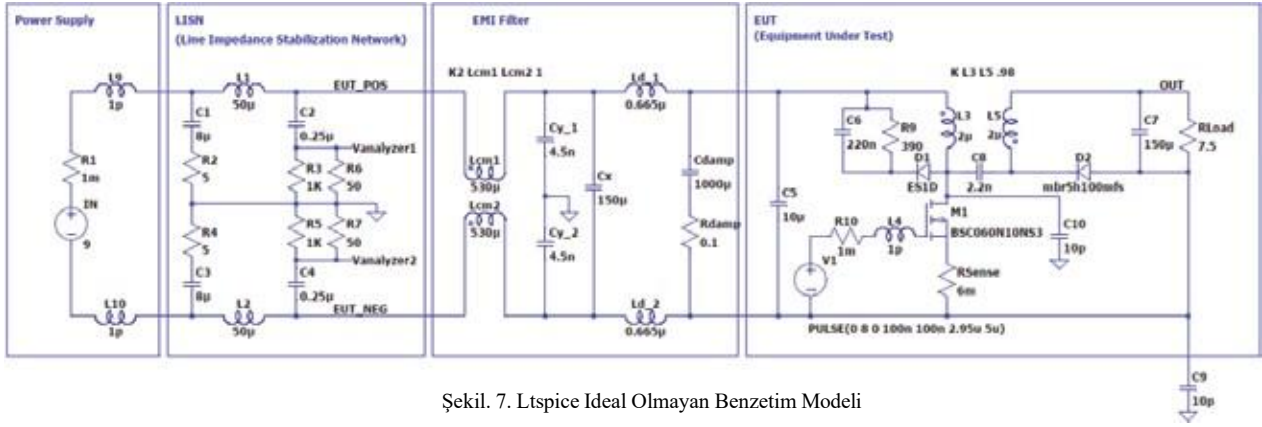
A. MIL-STD 461F Uyumluluk Gereksinimleri

Tasarlanan devrenin çalışma frekansına bağlı olarak cihazın oluşturacağı bozucu gürültü için MIL-STD-461F'e göre sınır seviyeleri belirlenmektedir. Üretilen cihazın anahtarlama frekansı 200kHz olduğu için Şekil 6' deki grafikten sınırın 68dBuV olduğu görülebilmektedir.



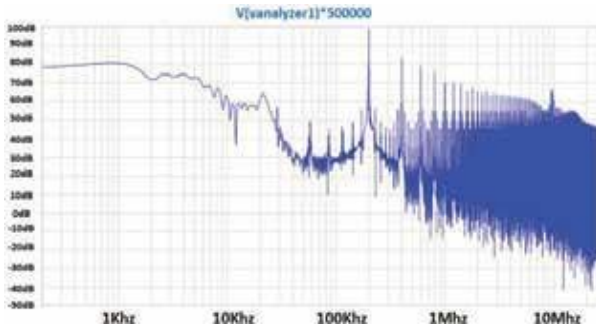
Şekil 6. MIL-STD 461F Sınır Koşulları [6]

LTspice programında oluşturulan benzetim modeli Şekil 7' de verilmiştir. Cihazın 200kHz'de 100dBuV gürültü yaydığı belirlenmiştir (Şekil 8). Bu sebeple en az 32dBuV' lik



Şekil 7. Ltspice Ideal Olmayan Benzetim Modeli

bastırma gereklidir. Bastırma oranı artarken tasarlanacak filtredeki elemanların boyutları da arttığı için uygun seçim yapılmalıdır. Bu sebeple 50dBuV bastırma komponentlerin boyutu bakımından ve cihazın sınır koşulunun altında kalmasını garantilemek için yeterli olacaktır.

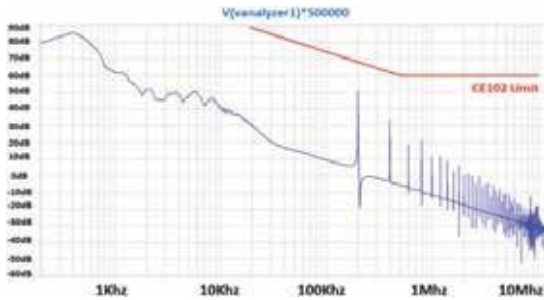


Şekil 8. EMI Filtresiz FFT Analizi

İdeal durumda her bir pasif malzeme 20dB/dekad gürültü bastırmasına sahiptir. LC tipinde bir süzgeç 40dB/dekad, π tipinde bir süzgeç ise 60dB/dekad'lık gürültü bastırma değerine sahiptir. Devre boyutu ve gereksinimler açısından LC tipinde bir filtre istenirleri karşılamaktadır. 200kHz'de 50 dBuV bastırma için 10kHz kesim frekansına sahip filtre için L ve C değerleri aşağıdaki şekilde bulunur [2,7].

$$f_0 = \left(\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \right) \quad (5)$$

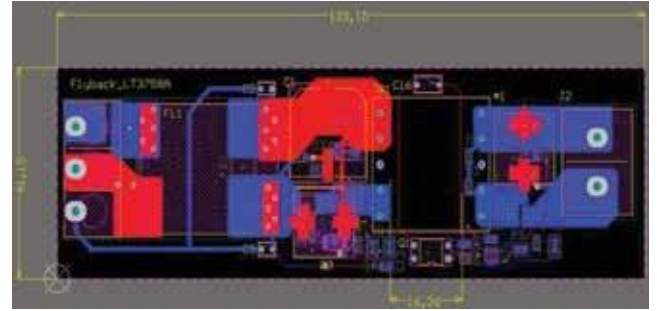
Diferansiyel mod için yapılan hesap ortak mod ile benzerlik gösterip, ortak mod gürültü daha çok yüksek frekanslarda ortaya çıkmaktadır (yaklaşık 7.5MHz). Tasarım sonucu oluşturulan filtre ile Şekil 9' da FFT analizi verilmiştir.



Şekil 9. EMI Filtreli FFT Analizi

V. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÇIKTILAR

Analog benzetim çalışmalarıyla detaylı analizleri yapılan tasarımın malzeme seçimleri yapılmıştır. Netleştirilen tasarımın boyutları sonucunda Altium programı ile şematik ve baskı devresi gerçekleştirilmiştir. Tasarımda devre elemanları arası mesafe, primer-sekonder arası mesafe ve baskı devre yolları genişliği standartlara göre düzenlenmiştir. IPC-2221 standardına göre primer ve sekonder arasında 2000V izolasyon sağlanmıştır [9]. Şekil 10'da baskı devre modeli gösterilmektedir.



Şekil 10. Baskı Devre Modeli (PCB)

Sonraki aşamada ise tasarımı gerçekleştirilen devrenin üretimi yapılmıştır. Şekil 11'de ise tasarım sonucu üretilen DA-DA dönüştürücü yer almaktadır.



Şekil 11. Tasarım Sonucu Üretilen DA-DA Dönüştürücü

VI. PROJE EKİBİNİN KAZANIMLARI VE TUSAŞ'A OLASI KATKISI

Teorik analiz sonucunda ortaya çıkan verilerin anlamlandırılması gidiş yolunun temel hatlarını belirler. Proje isterilerinde yer alan askeri standartların öğrenilmesi ve ürün çıktısının bu uyumlulukları sağlaması mühendislik açısından çok önemli bir detaydır. Farklı izolasyonlu DA-DA topolojileri ve bu yapılardan biri olan flyback için çalışma prensibi hakkında deneyim kazanılmıştır. Tasarımın özelleştirilmesi ve analog çalışmaların tamamlanması için kullanılan LTspice programı ve uygulamada gerçekleşmesi için PCB çalışmalarını yapıldığı Altium Designer programını öğrenmek ayrıca önemli kazanımlardır. Akademik öğrenim hayatında elde edilen teorik bilgi birikiminin uygulamaya geçilmesi ve bu süreç aşamasında karşılaşılan zorluklara getirilen çözüm önerileri, çalışın ekibinin analitik ve çözümsel bakış açısını geliştirmiştir. Projedeki süreç yönetiminin, hazırlanan akış planına uygun, gecikmesiz ve doğru ilerleyebilmesi amacıyla her zaman ek planlar bulundurulmalıdır. Ayrıca bu süreçte izlenen yol ve ilkeler, bireysel yetkinlik ve takım çalışması adına önemli kazanımlar sağlamıştır. Alana yönelik kavramlar arası ilişki ve uygulama bilgileri, literatür araştırma tekniklerinin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Ekipman seçim aşamasında alternatiflerin değerlendirilmesi, maliyet analizi ve bütçe kıyaslamasında değerlendirmisel yetkinlikler kazandırmıştır. Bilimsel yayın için kullanılan dil öğrenimi, hazırlanan bu çalışma sayesinde ilerletilmiştir.

Çalışmada TUSAŞ envanterinde bulunan araçlar başta olmak üzere istenilen gereksinimlere uygun alternatif DA-DA dönüştürücü tasarımı sunulmuştur. Bu tasarım gelecekte üretilecek ve geliştirilecek ürünler için fikir oluşturmaya katkıda bulunabileceği düşünülmektedir. Tasarımın istenilen özellikleri karşılamakta olup verimli ve kompakt yapıdadır. Ayrıca tasarlanan dönüştürücünün yaymış olduğu elektromanyetik girişim etkilerinin azaltımına yönelik yapılan filtre, devreye MIL-STD 461F uyumluluğu sağlamıştır. Kurum ihtiyaçları doğrultusunda oluşabilecek bu çalışma alanlarına deneyimli bireyler kazandırmıştır.

VII. ÖNERİLER, ALINAN DERSLER VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Üretimi yapılmış olan protatip, sistemlerde ihtiyaç duyulan dönüştürücü tasarımına yöneliktir. Tasarımda verimlilik, elektromanyetik uyumluluk ve ayrıca kompaktlığı etkileyen transformatör boyutu başta olmak üzere devre elemanları göz önünde bulundurulduğunda, süresiz mod (DCM) çalışma seçilmiştir. Diğer yandan bu durum diğer elemanların üzerindeki tepe değerleri ve çıkış gerilim dalgalılığını artırarak komponent boyutlarını doğrudan etkilemektedir. Seçilen çalışma frekansı için ayrıca sürekli mod (CCM) çalışma yapılarak da, farklı amaçlara uygun dönüştürücü tasarlanabilir. Unutulmamalıdır ki artan frekans sonucunda kullanılacak komponentlerin boyut olarak küçülmesine karşın, anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik gürültü artmaktadır. Kapasitif ve indüktif elemanların sahip olduğu karakteristik davranışlar bazı gereksinimler oluşturabilir. Elemanlar üzerinde oluşan stresler, spike ve surgeler için

komponent dayanımları hesaplanandan daha yüksek seçilmelidir. Devre elemanları üzerindeki her iyileştirme ardından maliyet analizini de beraberinde getirmektedir. Elektromanyetik girişim sonucu oluşan gürültünün bastırılması için tasarlanan filtre, MIL-STD-461F sınır şartlarını sağlamalıdır. Gerekli minimum bastırma oranından tolerans kadar fazla bastırılma yapılması uyumluluğu garanti ederken daha fazla bastırma yapmak filtre boyutunu artıracaktır. Uygulamada gerekli olan malzeme teslimi gecikmesinde, stokta bulunmama vb. durumlarda alternatif tedarikçi firma ve ek bir c planı gereksinimine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecek çalışmalarda daha geniş giriş gerilim aralığına sahip ve daha yüksek güç çıkışlı dönüştürücüler tasarlanabilir. Sekonder kısmında bulunan diyotun yerine ileri gerilim düşümü ve iç direnci daha az olan anahtarlama elemanı kullanılması sonucunda verimlilik artırılabilir. Hesaplamalarda yer alan transformatör tasarımı, yumuşak anahtarlama metodları ve geri besleme devresinin gelecek çalışmalarda ayrı olarak projelenmesi iş akışını daha kolay bir hale getirebilir. Bu çalışmalara ek olarak, devrenin farklı koşullarda termal açıdan incelemesi gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sunabilir.

VIII. TEŞEKKÜRLER

Bize bu sanayi odaklı lisans bitirme projesinde desteklerini esirgemeyen değerli akademik danışmanımız Dr. Yusuf Yaşa hocamıza, tecrübeleriyle yol gösteren TUSAŞ sanayi danışmanımız Sinan Kaya'ya ve bu projenin gerçekleşmesini sağlayan TUSAŞ'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Marian K. Kazimierczuk. Pulse-Width Modulated DC-DC Power Converters. Wiley, 9781119009542, September 2015
- [2] Hasan Çağlar Aksoy. Elektromanyetik Girişim Süzgeç Tasarımı, Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2014
- [3] Abraham Pressman. Switching Power Supply Design. McGraw-Hill, 0070522367, 1997
- [4] Texas Instruments. Magnetics Design 5 - Inductor and Flyback Transformer Design. 2001
- [5] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LT3758-3758A.pdf>
- [6] MIL-STD-461, "Department of defense interface standard: Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment" USA, 2007.
- [7] <https://www.biricha.com/uploads/8/9/8/0/89803127/input-filter-design-examplepdf.pdf>
- [8] Würth Elektronik, Anticipate EMC with LTSPICE, Webinar, 2021
- [9] IPC-2221, "Generic Standard on Printed Board Design", USA, 1998