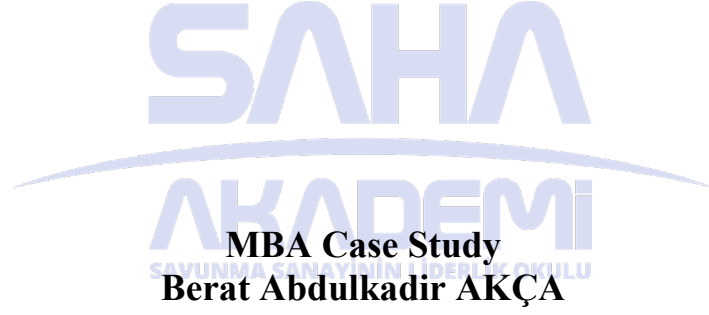


T.C
SAHA İSTANBUL & TÜBİTAK TÜSSİDE
SAHA AKADEMİ MBA YÖNETİCİ GELİŞTİRME PROGRAMI

**Mini Sınıfı Tek Kullanımlık İnsansız Hava Aracı Sisteminin Yapısal ve
Mekanik Elemanların 3D Baskı ve Katmanlı İmalatı**



Danışman
Dr. Uğur TARÇIN
İstanbul- 2025

1. SAHA İstanbul Yönetim Kurulu kararıyla, 2024-2025 eğitim döneminden itibaren SAHA AKADEMİ MBA katılımcılarına “Araştırma Projesi” hazırlama yükümlülüğü getirilmiştir. Bu uygulama; katılımcıların sektörel bilgi, stratejik düşünme ve akademik üretkenlik yetkinliklerini geliştirmeyi hedeflerken, savunma sanayii ekosistemine bilimsel katkıyı artırmayı amaçlamaktadır. Bu girişim, Türk savunma sanayii ekosisteminde bilimsel katkıyı artırmaya yönelik önemli bir adımdır.

2. SAHA İstanbul-SAHA AKADEMİ tarafından yayımlanan bu çalışma, ilgili yazar tarafından özgün biçimde hazırlanmış ve beyan edilmiştir. Çalışmada yer alan görüşler yazara ait olup, SAHA İstanbul’un kurumsal görüşünü yansıtmamaktadır. İçerikte sunulan bilgi, yorum ve sonuçların doğruluğu sorumlu yazara aittir. SAHA AKADEMİ; benzerlik oran tespiti yapmıştır.

3. Bu çalışma, [Berat Abdülkadir AKÇA] tarafından hazırlanmıştır. Araştırma Projesi danışman tarafından değerlendirilmiş ve sunumu [11 Mayıs 2025] tarihinde yeterli görülerek kabul edilmiştir.

Araştırma Projesi Sunum Jüri Üyeleri

Başkan	Dr. Uğur Tarçın (SAHA AKADEMİ Öğr.Görevlisi)	<i>e-imzalıdır</i>
Üye	Ayşe Çağın (SAHA AKADEMİ Yöneticisi)	<i>e-imzalıdır</i>
Üye	Muzaffer Ünsaldı (Kurumsal İletişim ve Marka Yöneticisi)	<i>e-imzalıdır</i>

(Formun aslı, imzalı olarak ilgili dosyada muhafaza edilmektedir.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. Vaka Çalışması Başlığı.....	3
2. Vaka Özeti.....	3
3. Sorun Tanımı.....	3
4. Amaç.....	4
5. Analiz Yöntemi.....	5
6. Çözüm Önerileri.....	6
7. Gerçekleştirilen Aşamalar veya Eylemler.....	7
8. Bulgular.....	7
9. Değerlendirme.....	8
10. Sonuç ve Tavsiyeler.....	8
11. Kaynakça.....	10

MİNİ SINIFI TEK KULLANIMLIK İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN YAPISAL VE MEKANİK ELEMANLARIN 3D BASKI VE KATMANLI İMALATI (CASE(VAKA)STUDY)

Berat Abdulkadir AKÇA

BAYKAR

beratakca@gmail.com

1. Vaka Çalışması Başlığı

Bir savunma şirketinin geliştirmiş olduğu tek kullanımlık mini sınıfı insansız hava aracı sisteminin yapısal ve mekanik elemanlarının 3D baskı imalat yöntemleriyle geliştirilmesi.

2. Vaka Özeti

Gelişen teknolojiyle beraber geleneksel üretim yöntemlerinin haricinde yeni, hızlı, maliyette etkin üretim metotları arayışını girilmiştir. 3D baskı ve katmanlı üretim teknolojileri ülkemizde giderek yaygınlaşmaktadır. İlk yıllarda üçüncü veya ikinci sınıf öneme sahip parça ve komponentlerin üretiminde kullanmaya başlansa da günümüzde birinci sınıf öneme sahip parça ve komponentlerde yerini almaktadır.

Bu vaka çalışmasında, bir savunma şirketinin geliştirmiş olduğu tek kullanımlık insansız hava aracı sisteminde yapısal ve mekanik komponentlerinin geleneksel üretim metotlarındaki problemlerinden ve 3D baskı üretim metotlarının geleneksel üretim metotlarına göre neden tercih edildiği incelenecektir. 3D baskı imalat yöntemlerinin hafif platformlar hava araçlarında nasıl kullanıldığı, sağlamış olduğu avantaj ve dezavantajlar, diğer üretim metotlarına göre olan etkinliği analiz edilecektir.

3. Sorun Tanımı

Teknolojinin gelişmesiyle insansız sistemlerin ortaya çıkması ve bu sistemlerin akıllandırılması dünya savaş doktrininde çok farklı olaylara şahitlik etmiştir. II. Dünya Savaşı'nda etkin kullanılan tanklar, savaş alanında vazgeçilmez bir kuvvet ara çarpanı olduğunu kanıtlamıştır. Soğuk Savaşla beraber silahlanma yarışı, 2. Dünya Savaşından kalan doktrinler üzerinden ilerlemiştir. O günden

bu güne teknoloji hızla gelişmiş ve insansız akıllı sistemler sahaya sürülmüştür. Özellikle Türkiye'nin öncülük ettiği insansız hava aracı teknolojilerinde ve insansız hava araçlarının sahada etkin kullanımı dünya savaş doktrininde değişikliğe sebep olmuştur. II. Dünya Savaşında vazgeçilmez bir kuvvet çarpanı oluşturan tanklar, kendisinin çok altında maliyetlerle üretilen insansız hava aracı sistemlerinin kolayca hedefi olmuştur. Bu durum ülkelerin savaş stratejilerini ve silahlanma politikalarını sorgulamalarına sebep olmuştur. Özellikle Karabağ Savaşında insansız hava araçlarının etkin kullanımıyla tank ve hava savunma sistemlerinin kolayca hedef haline gelmesi tüm dünya ülkelerine farklı boyutlar kazandırmıştır.

Ülkeler zamanla bu değişime uyum sağlamaya başlamış ve bu alanlarda çalışmalarını hızlandırmışlardır. İnsansız hava aracı sistemlerinin zamanla gelişmesiyle çok daha basite indirgenmiş sistemler ortaya çıkmaya başlamıştır. Ukrayna-Rusya savaşı bu durumun daha farklı boyutlarını bize göstermiştir. Artık büyük insansız sistemler yerine daha küçük, daha az maliyetli sistemlerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Büyük sistemlerin sahadaki etkinlikleri azalmaya başlamış, yapay zeka destekli küçük sistemler etkin rol oynamaya başlamıştır.

Türkiye teknoloji yarışında geri kalmamak için bu alanda çalışmalarını hızlandırmıştır. Mini sınıfı insansız sistemler, kamikaze dronelar gibi bir çok proje yürütülmektedir.

Vaka çalışmasına konu olan savunma sanayi şirketimiz mini sınıfı akıllı kamikaze insansız hava aracı sistemi geliştirmektedir. Geliştirilen sistem tek kullanımlık olacağından dolayı maliyeti oldukça düşük ve hızlı üretilabilir olmalıdır. Düşük maliyet ve yüksek etkinlik ürüne olan talebi oldukça arttırmaktadır. Bu durumda yüksek adetli siparişlere yol açmaktadır. Ancak geleneksel imalat yöntemleriyle istenilen maliyet ve üretim hızı yeterli değildir. Özellikle hava aracındaki yapısal ve mekanik komponentler birinci sınıf kritik öneme sahip parçalar olduğundan dolayı üretim süreçleri zaman almaktadır. Ayrıca, proje geliştirme süreçlerinde hızlı prototipleme yapılamadığından proje maliyetleri artmaktadır.

4. Amaç

Tek kullanımlık mini sınıfı insansız hava aracı sisteminin maliyette etkin ve talepleri karşılayabilmesi için malzeme ve üretim metotlarını geliştirilmesi düşünülmektedir. Bu yüzden maliyete ve üretim hızına rol oynayan yapısal ve mekanik parçalarında 3D baskı imalat yöntemleriyle geliştirilmesi gerekmektedir. 3D baskı yöntemiyle yapılan gelişmelerde:

- Maliyette azalma,
- Hızlı prototipleme ve hızlı üretim,
- Geliştirme süreçlerinin hızlı sonuçlanması,
- Tasarım esnekliği,
- Çok parçalı yapıdan az parçalı yapıya geçme,
- Entegrasyon adımlarında azalma beklenmektedir.

Bu nedenle, hava aracının yapısal ve mekanik parçalarının 3D baskı imalat yöntemiyle geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

5. Analiz Yöntemi

3D baskı imalat yöntemlerinde birçok farklı teknikler kullanılmaktadır. Ancak temel anlamda katmanlı imalat yöntemleridir. 3D baskı imalat yöntemleri katı, sıvı ve toz bazlı olarak 3 ana gruba ayrılmaktadır. En yaygın kullanılan 3D baskı imalat yöntemleri:

- FDM (Erimiş Biriktirme Modellemesi)
 - En yaygın kullanılan yöntemdir. Plastik malzemeyi eriterek katman katman biriktirir. Üretim hızı yavaştır.
- SLA (Stereolitografi)
 - Reçineyi lazerle kürleyerek model oluşturur. Yüksek hassasiyet sunar. Üretim hızı yavaştır.
- SLS (Seçici Lazer Sinterleme)
 - Toz halindeki polimer malzemeyi lazerle katman katman eriterek model oluşturur. Destek yapısı gerekmez. Üretim hızı ortadır.
- SLM (Seçici Lazer Ergitme)
 - Metal tozlarını lazerle ergiterek model oluşturur. Üretimi yavaştır.

Yöntem	Malzeme Türü	Baskı Hassasiyeti	Dayanıklılık	Maliyet	Destek Yapısı	Üretim Hızı
FDM	Plastik	Orta	Orta	Düşük	Gerekebilir	Yavaş
SLA	Sıvı Reçine	Yüksek	Orta	Orta	Gerekebilir	Yavaş
SLS	Polimer Tozu	Orta	Orta	Yüksek	Gerekmez	Orta
SLM	Metal Tozu	Yüksek	Yüksek	Çok Yüksek	Gerekmez	Yavaş

Tablo 1. Yaygın Kullanılan 3D Baskı İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarıdaki tabloda dört 3D baskı imalat yönteminin karşılaştırılması yapılmıştır. Her yöntemin avantaj ve dezavantajları mevcuttur. FDM yöntemi düşük maliyetli iken üretim hızı yavaş kalmaktadır. SLS yöntemi ise diğerlerine göre daha hızlı üretime sahipken maliyeti yüksektir. Ancak genel anlamda üretim hızı baz alındığında SLS yöntemi diğerlerine göre avantajlıdır. SLS yönteminin geleneksel üretim yöntemleriyle karşılaştırılması yapılmıştır.

Yöntem	SLS	Kompozit İmalat (El Yatırması)	CNC İşleme (Freze&Torna)
Malzeme Türü	Polimer	Cam, Karbon Fiber, Reçine	Metal
Mekanik Dayanım	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Üretim Hızı	Orta-Hızlı	Yavaş	Orta-Hızlı
Maliyet	Orta-Yüksek	Yüksek	Orta-Yüksek
Tasarım Esnekliği	Çok Yüksek	Orta	Orta
Atık Miktarı	Düşük	Orta-Yüksek	Yüksek

Tablo 2. SLS İmalat Yöntemiyle Geleneksel İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yukarıdaki tabloda üç üretim yöntemi kendi içerisinde analiz edilmiştir. Kompozit imalat (el yatırması) ve CNC işleme (freze&torna) yöntemleri geleneksel üretim yöntemlerini kapsamaktadır.

6. Çözüm Önerileri

Yaygın kullanılan 3D baskı imalat yöntemleri birbiri içinde analiz edilmiştir. SLS üretim metodunun diğerlerine göre üretim hızının yüksek olması ve ilgili savunma sanayi firmasının SLS

üretim alt yapısına sahip olmasından dolayı bu üretim yönteminden devam edilmesi avantajlı bir çözüm olacaktır. Ek olarak, SLS üretim yöntemi diğer geleneksel üretim yöntemleriyle kıyaslandığında üretim hızı, tasarım esnekliği ve atık miktarı açısından avantajlı görülmektedir. Yapısal ve mekanik komponentler düşünüldüğünde SLS imalat yöntemi dezavantajlı konumdadır. Maliyet açısından bakıldığında ise diğer imalat yöntemlerine göre farklılık göstermemektedir. Ancak SLS yöntemi malzeme maliyeti açısından yüksek olmasına rağmen işçilik açısından avantajlıdır. Kompozit üretimlerinde işçilik ve kalıp maliyetlerinin yüksek olması, CNC üretimlerinde ise atık miktarlarının yüksek olması dezavantajdır. Tüm bu çıkarımlar kayıp-kazanç ilişkisi altında parça veya komponentlere göre değerlendirilmelidir.

7. Gerçekleştirilen Aşamalar veya Eylemler

Savunma sanayi firmasının üçüncü ve ikinci sınıf parçalar için kullandığı SLS üretim metodu birinci sınıf parçalar içinde kullanılmaya başlandı. Tasarım süreçleri ve proje takvimi bu üretim metotlarına göre düzenlendi. Yapısal analiz ve testler SLS metotla üretilen PA2200 polimer malzemeye ¹ göre yapıldı. Geleneksel üretim metotlarından tamamen vazgeçilmedi. Özellikle SLS üretimin getirmiş olduğu dezavantajlar için kritik öneme sahip kanat, kuyruk, gövde gibi ana komponentlerde hibrit üretim yöntemleri kullanıldı.

8. Bulgular:

Uygulanan çözümler sonucunda hedeflenen amaçlara ulaşıldı. Çoğunlukla kompozit el yatırması imalat yönteminden vazgeçildiği için kalıp maliyetli, işçilik ve entegrasyon adımların azalmalar yaşandı. 3D baskının üretim avantajından dolayı komponentler çok parçalı yapıdan daha yalın hale getirildi. Bu durumda hızlı prototipleme ve hızlı üretime katkı sağladı. SLS üretimin tasarım esnekliğinden dolayı geliştirme süreçleri hızlı sonuçlandı. Elde edilen sonuçlar beklentileri karşıladı ve üretim süreçlerinde istenilen noktaya gelindi.

Ayrıca: Fırat Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu'ndan F. İ. Aytaç, Ü. Çelik ve M. T. Gençoğlu tarafından 2022 yılında gerçekleştirilen çalışmada, küçük İHA'lar için 3D baskı teknolojisi kullanılarak şekil değiştirebilen bir kanat tasarlanmış ve test edilmiştir.

¹Yüksek mekanik ve ısı dirence sahip poliamid yüksek kalitede fonksiyonel parça üretimi ve çeşitli prototipleme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.
(Bkz. <https://aluteam.fsm.edu.tr/Upload/WebDosya/Dosya-866-765-5ed92f9c-e09f-4-2925.pdf>)

Tasarım sürecinde, kanadın statik ve aerodinamik analizleri çeşitli simülasyon araçlarıyla gerçekleştirilmiş, optimizasyon çalışmaları tamamlandıktan sonra 3D yazıcıyla prototip üretimi yapılmıştır. Üretilen prototip, rüzgâr tüneline farklı test senaryolarına tabi tutulmuş ve kanadın aerodinamik performansı değerlendirilmiştir.

XFRL5 yazılımı kullanılarak yapılan aerodinamik analizler sonucunda, kambur kanadın en yüksek kaldırma katsayısına (CL) sahip olduğu belirlenmiştir. Simetrik kanadın ise daha düşük sürüklenme katsayısı (CD) sunduğu ve dolayısıyla aerodinamik verimliliğinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr tüneli testleri kapsamında, farklı hızlar ve hücum açıları için kaldırma kuvveti ölçümleri yapılmış, elde edilen veriler kanadın farklı uçuş koşullarına uyum sağlayabildiğini göstermiştir.

Bu çalışma, 3D baskı teknolojisinin küçük İHA'lar için yenilikçi ve aerodinamik açıdan optimize edilebilen kanat tasarımlarında etkili bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.[4]

Ek olarak; İnfotron, Metalworm ve Coşkunöz gibi yerli firmalarımız 3D baskı teknolojilerinde çeşitli inovatif çalışmalar yürüterek bu alanda yüksek kabiliyet sahibidirler. Özellikle yerli metal 3D katmanlı imalat makineleri üzerinde çalışmalar yapılmış ve makine tedarikinde dışa bağımlılık durumları azalmıştır. [5][6][7]

9. Değerlendirme

Vaka çalışması sonucunda belirlenen amaçların hepsi gerçekleşmiştir. Geleneksel üretim yöntemlerinin dışına çıkıp yeni üretim metotlarının denenmesi hem şirket bünyesine hem de çalışmaya dahil olan mühendislik ekibine yeni kabiliyetler kazandırmıştır. Bu kazanılan kabiliyetler bu projenin istenilen yere gelmesine ve gelecekteki projelere yol gösterici olacaktır.

10. Sonuç ve Tavsiyeler

3D baskı ve katmanlı imalat yöntemlerinin mini sınıfı hava aracı sistemleri için avantajlı olduğu görülmüştür. Bazı durumlar için geleneksel üretim yöntemlerinden tam anlamıyla vazgeçilememesinin sebepleri arasında 3D baskı üretim yöntemlerinin oluşturduğu dezavantajlar bulunmaktadır. Bu durum, bu alanın gelişime açık ve teknolojik anlamda daha da ileriye götürülmesi gerektiğini göstermektedir. Bu alandaki teknolojik çalışmalar arttırılmalı, hem üretim metotları hem de kullanılan malzeme özellikleri geliştirilmelidir.

Bu bağlamda, üniversiteler, savunma sanayii şirketleri ve kamu kurumları arasındaki iş birliği artırılmalı, 3D baskı teknolojilerinin savunma sanayii uygulamalarına entegrasyonu için ortak projelerin yürütülmesi önemlidir. Özellikle savunma sanayii kümelenmeleri, bu alanda araştırma-geliştirme faaliyetlerini destekleyerek inovasyonu teşvik etmede ve sanayiye yönelik uygulanabilir çözümler üretmede rol oynayabilir.

Bunun yanı sıra, NATO'nun Science and Technology Organization (STO) kapsamında yürüttüğü çalışmalar yakından takip edilerek, uluslararası bilgi paylaşımı ve iş birliği sağlanmalıdır. STO'nun Applied Vehicle Technology (AVT) ve Systems Analysis and Studies (SAS) panelleri, 3D baskı ve katmanlı imalat teknolojilerinin askeri sistemlerde kullanımı üzerine önemli araştırmalar yürütmektedir. Türkiye'nin bu panellere aktif katılımı, teknolojik gelişmeleri yakından izleyerek savunma sanayii ekosistemine entegre etme fırsatı sunacaktır.[8]



11. Kaynakça

- [1] Hindawi Advances in Materials Science and Engineering Volume 2021, Article ID 5756563, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2021/5756563>
- [2] Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). *A Review of Additive Manufacturing*. ISRN Mechanical Engineering, 2012, 1-10.
- [3] Guo, N., & Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: Technology, applications, and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3), 215-243.
- [4] Fatma İlayda AYTAÇ , Ümit ÇELİK & Muhsin Tunay GENÇOĞLU (2023). Küçük İHA'ları için 3D Baskılı Şekil Değiştirebilir Kanat Tasarımı ve Testleri. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 35(2), 847-853.
- [5] İNFOTRON : <https://infotron.com.tr/>
- [6] METALWORM: <https://www.metalworm.com/>
- [7] COŞKUNÖZ : <https://www.coskunuzholding.com.tr/tr>
- [8] NATO STO : <https://www.sto.nato.int/Pages/default.aspx>

