

3 Boyutlu Yazıcıların İnsansız Hava Aracı Uygulamalarında Kullanımı

Osman Villi ^{1*}, Özge Villi ², Murat Yakar ³

- ^{1*} Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 33140, Mersin, Türkiye; (osman.villi@toros.edu.tr)
² Toros Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 33140, Mersin, Türkiye; (ozgevilli@gmail.com)
³ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 33110, Mersin, Türkiye; (myakar@mersin.edu.tr)



*Sorumlu Yazar:
osman.villi@toros.edu.tr

Araştırma Makalesi

Alıntı: Villi, O., Villi, Ö. & Yakar, M. (2023). 3 Boyutlu Yazıcıların İnsansız Hava Aracı Uygulamalarında Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(2), 81-97.

Geliş : 14.07.2023
Revize : 13.11.2023
Kabul : 30.11.2023
Yayınlama : 31.12.2023

Özet

İnsansız hava araçları (İHA) ilk geliştirildiği yıllarda, nispeten az sayıda bileşenden oluşmuştur. Son yıllarda ise teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok mekanik, elektro-mekanik ve elektronik bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenlerin, özellikle mekanik ve yapısal elemanların üretimi çeşitli teknikler ile yapılmakta ve çoğu zaman maliyetli olmaktadır. İHA üretiminde yaygın olarak kullanılan ve konvansiyonel üretim tekniklerinden olan kalıp enjeksiyon veya talaşlı imalat, zaman ve maliyet açısından giderleri arttırabilmektedir. Son yıllarda oldukça gelişen 3 boyutlu (3B) yazıcı teknolojisi, İHA bileşenlerinin üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. 3B yazıcı teknolojilerinde kullanılan baskı malzemeleri, termoplastik ve türevleridir. Bu malzemeler geleneksel üretimde yaygınlıkla kullanılan metallere kıyasla çok daha hafif ve işlenmesi kolaydır. 3B yazıcılar sadece İHA bileşenlerinin basımında değil aynı zamanda İHA görüntüleri ile elde edilen 3B modellerin ölçekli şekilde baskısının elde edilmesinde de kullanılmaktadır. Literatürde, özellikle kültürel miras ve arkeolojik çalışmalar başta olmak üzere, mühendislik uygulamalarında ve doğal afetlerin izlenmesinde önemli sonuçlar elde edildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında 3B yazıcıların, İHA bileşenlerinin üretiminde ve İHA kullanılarak elde edilen görüntü çıktılarında kullanım irdelenmiş, ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Son olarak gelecekteki beklentiler sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İHA, 3B yazıcı, 3B model, nokta bulutu.

Review on the Use of 3D Printers in Unmanned Aerial Vehicle Applications

*Corresponding Author:
osman.villi@toros.edu.tr

Research Article

Citation: Villi, O., Villi, Ö. & Yakar, M. (2023). Review on the Use of 3D Printers in Unmanned Aerial Vehicle Applications. *Turkish Journal of Unmanned Aerial Vehicles*, 5(2), 81-97 (in Turkish).

Received : 14.07.2023
Revised : 13.11.2023
Accepted : 30.11.2023
Published : 31.12.2023

Abstract

Unmanned aerial vehicles (UAVs), in their early development years, consisted of a relatively small number of components. However, in recent years, with the advancement of technology, they are composed of numerous mechanical, electro-mechanical, and electronic components. The production of these components, especially mechanical and structural elements, involves various techniques and is often costly. Commonly used in UAV manufacturing, conventional production techniques such as mold injection or machining can increase time and cost expenditures. The rapidly evolving 3D printing technology has been increasingly employed in the production of UAV components in recent years. The printing materials used in 3D printing technologies are thermoplastics and their derivatives. These materials are much lighter and easier to process compared to metals commonly used in traditional production. 3D printers are not only used in the printing of UAV components but also in the scaled printing of 3D models obtained from UAV images. In the literature, significant results have been achieved in various studies, particularly in cultural heritage, archaeological research, engineering applications, and natural disaster monitoring. In the context of this study, the utilization of 3D printers in the production of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) components and in the generation of imagery outputs obtained through the use of UAVs has been scrutinized. Relevant literature studies have been referenced. Finally, future expectations are delineated.

Keywords: UAV, 3D printer, 3D model, point cloud.

1. Giriş

İHA en genel tanımıyla, içinde bir pilot bulunmayan ve çeşitli haberleşme protokolleri ile kablosuz kontrol edilebilen, otonom, yarı otonom veya yerdeki bir pilot tarafından yönlendirilen hava araçlarıdır (Menteşeoğlu & İnan, 2016; Yakar & Villi, 2022). Amaç ve kabiliyetlerine göre farklı boyut, şekil ve ağırlıkta olan İHA'ların sınıflandırılması da bu doğrultuda görev irtifasına, ağırlığına veya kanat tipine göre yapılmaktadır. Sivil amaçlı İHA'lar göz önüne alındığında, kanat tipine göre yapılan sınıflandırma en yaygın olanıdır. Buna göre 3 ana gruba ayrılan İHA'lar sabit kanat, döner kanat ve hibrit tip olarak isimlendirilmektedir (Erdoğan vd., 2022a; Kabadayı vd., 2020; Yakar vd., 2023).

İHA sistemleri, ilk zamanlarda sabit kanat tipli olarak askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. Ancak artan ihtiyaçlar doğrultusunda bilimsel araştırmalarda ve mühendislik çalışmalarında da kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu alanlarda genellikle döner kanat tip tercih edilse de geniş alanların taranması ve görüntü toplama söz konusu olduğunda sabit kanat veya hibrit tip İHA sistemleri daha avantajlı olabilmektedir (Erdoğan vd., 2022b; Kabadayı & Erdoğan, 2023).

Hangi amaç ile kullanılırsa kullanılsın, İHA sistemlerinde en önemli husus havada kalma süresidir. Havada kalma süresini etkileyen en önemli parametre ise kalkış ağırlığıdır (takeoff weight). Kalkış ağırlığını düşürmeye yönelik çalışmaların başında da hafif ve dayanıklı malzemelerin üretilmesi gelmektedir (Anand & Mishra, 2022).

İHA üretiminde kullanılan geleneksel imalat yöntemlerine örnek olarak; köpük ve balsa ağacı şekillendirmesi için sıcak tel kesme, kompozit malzemelerin kullanıldığı durumlarda ise bu malzemelerin uygun yerleştirilmesini içeren ilgili üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Eklemeli imalat yöntemi ise İHA üretiminde kullanılan geleneksel olmayan yöntemdir. (Goh vd., 2017). Hem konvansiyonel fabrikasyon teknolojileri hem de eklemeli imalat yöntemlerinin avantajları olduğu kadar dezavantajları da bulunmaktadır. Çoklu işlem basamaklarının olması (Goh vd., 2017; Cairns & Skramstad, 2000), emek-yoğun üretim (Goh vd., 2017; Atzeni vd., 2010), kalıp maliyetlerinin fazla olması ve işlem sürecinin uzun olması (Goh vd., 2017; Kruth vd., 1998), geleneksel imalat yöntemlerinin dezavantajlarıdır.

Geleneksel olmayan üretim yöntemlerinden olan 3B baskı teknolojisi eriyik yığılma modelidir. Bu teknik ile İHA bileşenlerinin üretimi her yıl giderek artmaktadır. Ayrıca sadece İHA'ya ait parçalar değil, aynı zamanda tüm İHA gövdesinin yapımı

sağlanabilir (Zagidullin vd., 2021). Aşağıdaki şekilde eklemeli imalat yöntemine göre çalışan kartezyen, polar ve delta tipindeki 3B yazıcılar görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Eriyik yığarak modelleme (FDM: Fused Deposition Modeling) prensibine göre çalışan 3B yazıcı örnekleri.

İHA üretiminde 3B yazıcı kullanmanın önemli avantajlarından biri, otomasyonun daha hızlı olması ve malzeme israfının minimum seviyede olmasıdır. Bu da uygulamayı maliyet açısından etkin kılmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanıldığı yöntemler ile kıyaslandığında, kompozit malzemelerin üretilmesi için gerekli bileşen maliyetini on kata kadar azaltmaktadır (Erdoğan vd., 2021; Kabadayı, 2022; Kabadayı & Erdoğan, 2022; Anand & Mishra, 2022; Fasel vd., 2020).

Geleneksel üretim yöntemlerine göre kıyaslandığında daha az atık malzeme ortaya çıkmaktadır. Ayrıca işe yaramayan parçalar (kırılmış, tamamlanamamış, hatalı üretilmiş vb.) eritilerek tekrar filament haline getirilebilir (Easter vd., 2013).

Eklemeli imalat yönteminin avantajları bulunmasına rağmen bazı sınırlamaları da mevcuttur. Bu yöntemde kullanılan malzemelerin yük dayanımının düşüklüğü, anizotropik özellikler, karakterizasyon yöntemlerinin eksik olması ve küçük yapı hacimleri, eklemeli imalat yönteminin uygulanabilir bir ticari çözüm olmasını sınırlandırmaktadır (Goh vd., 2017).

İHA'nın uygulama alanına göre değişmekle birlikte, kompozit, polimerler ve metaller gibi mühendislik malzemeleri yaygınlaştıkça kullanılmaktadır. Kompozit malzemeleri ele aldığımızda, havacılık uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan karbon fiber takviyeli kompozitlerdir (CFRP). Metallerle göre kıyaslandığında üstün bir sertlik/yoğunluk oranına sahiptir. Ayrıca yorulmaya, korozyona ve neme karşı dirençlidir (Anand & Mishra, 2022; Zhu vd., 2018).

Bir diğer kompozit çeşidi olan fiberglas veya cam elyaf takviyeli plastik, karbon elyafa göre maliyeti daha az olmakla birlikte yaygınlıkla titreşimin çok olduğu gövde ve iniş takımına ait bileşenlerin yapımında kullanılır. Gövde ve iniş takımlarının ani darbe yüklerine karşı dayanımını arttırmak için kullanılan "kevlar" malzemesi bir diğer kompozit

çeşididir. Havacılık ve uzay endüstrilerinde uygulama alanına bağlı olarak alaşım malzemeler de tercih edilebilmektedir. En çok kullanılan alaşımlar arasında titanyum, alüminyum ve magnezyum yer almaktadır. Alüminyum alaşımları, yoğunluğunun düşük olması, imalatının kolay olması, kırılma tokluğu ve mukavemetinin yüksek olması sebebi ile İHA sistemlerinin gövde bileşenlerinde kullanılabilir. Yüksek mukavemetli bir diğer alaşım olan titanyum alaşımları, düşük ağırlıkta olup, korozyona, ısıya ve yorulmaya karşı dayanıklıdır. Ancak pahalı bir malzemedir. Magnezyum alaşımları, doğa dostu geri dönüştürülebilir bir malzeme olmakla birlikte yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı azdır (Anand & Mishra, 2022).

Polimer olarak, "akrilonitril bütadiyen stiren" (ABS) ve "polylactic acid" (PLA) en yaygın olan malzemeler olup, ABS maliyetinin düşük olmasından, PLA ise hafif bir malzeme olmasından dolayı tercih edilmektedir (de Oliveira & Carvalho, 2021; Shin vd., 2020). Diğer bir polimer malzeme olarak "Polietilen tereftalat" (PET), yüksek elastikiyet ve gerilme mukavemetine sahip bir malzeme olmasından dolayı İHA yapımında kullanılmaktadır (Anand & Mishra, 2022; Niemand vd., 2020).

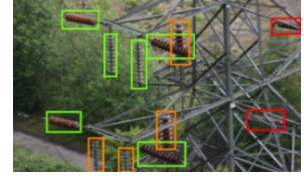
2. İnsansız Hava Araçları

Birçok teknolojik gelişme gibi İHA'lar da başlarda askeri amaçlar doğrultusunda geliştirilmiştir. Ancak gelişen teknoloji ve artan ihtiyaçlar doğrultusunda bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel faaliyetlerde sivil amaçlı olarak kullanılmaya başlamıştır. İHA sistemleri günümüzde 15'ten fazla sektörde ve 100'den fazla uygulama alanıyla her geçen gün daha popüler hale gelmektedir (Ahmed vd., 2022; Villi & Yakar, 2022; Yakar vd., 2023). Günümüzde İHA sistemleri çoğunlukla haritalamada, madencilik alanında, arkeolojik uygulamalarda, ormancılık ve hassas tarım uygulamalarında, inşaat ve mimari projelerde, sinema ve reklam sektöründe, arama kurtarma ve doğal afet izleme uygulamaları gibi majör alanlarda kullanılmaktadır (Mohsan vd., 2022; Sivakumar & Turlapati, 2021). Orman yangınlarının izlenerek yayılım yönlerinin tespiti, duman ve alevlerin görüntü işleme ve yapay zeka teknikleri ile deteksiyonu (Jiao vd., 2019), elektrik hatlarında meydana gelen arızaların ve paslı elemanların otomatik şekilde tespiti (Odo vd., 2020), tarımsal alanlarda hastalık ve su stresi tespitleri (Akkamış & Çalışkan, 2020), tarihi yapıların deformasyon tespitleri ile ilgili çalışmalar (Karataş vd., 2022), arkeolojik alanlar ve yapıların belgeleme çalışmaları için 3B modellenmesi ve rölöve çalışmaları (Kanun vd., 2021; Şasi & Yakar, 2017; Yakar & Doğan, 2017; Alptekin & Yakar, 2021), kaya düşmesinden

kaynaklı afetlerin izlenmesi ve analizleri (Yakar vd., 2022), heyelan bölgelerinin 3B modellenerek veya çeşitli yapay zeka yöntemleri ile analiz edilmesi (Alptekin vd., 2019; Kusak vd., 2021), iklim ve çevresel değişikliklere bağlı olarak kıyı ve kıyı kenar değişikliklerinin izlenmesi (Ünel vd., 2020) literatür çalışmalarından bazılarıdır (Şekil 2).



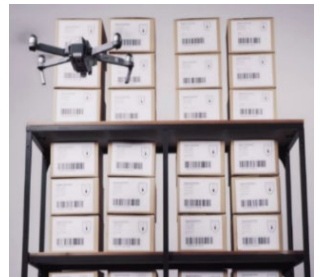
Orman yangını
afetlerinin izlenmesi
(Jiao vd., 2019)



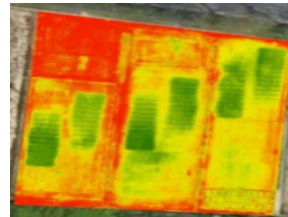
Elektrik hattı izleme ve
arıza tespiti (Odo vd.,
2020)



Arkeolojik çalışmalar
(Kanun vd., 2021)



Sayım uygulamaları



Hassas tarımsal
uygulamaları (Akkamış
& Çalışkan, 2020)



Termal izleme
uygulamaları

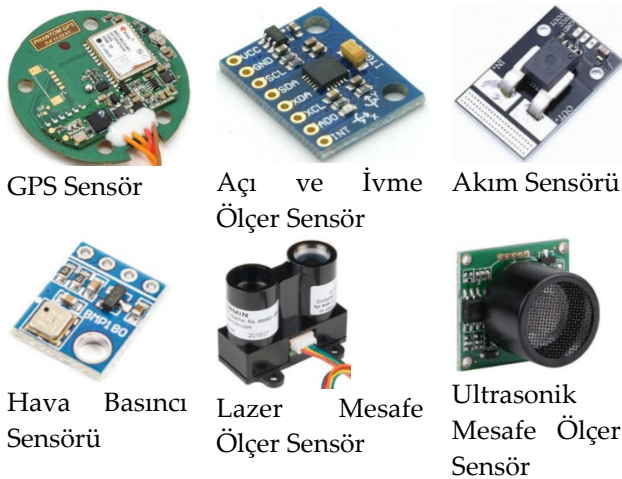
Şekil 2. İHA Kullanım alanlarından bazıları.

İHA'lar genellikle bir uçuş rotasına bağlı olarak otonom, yarı otonom veya pilot tarafından kumanda edilmektedir. Görev kabiliyetlerine ve amaçlarına göre farklı boyut, şekil ve ağırlıkta olabilmektedirler. Üzerlerinde bulundukları algılayıcı sistemler sayesinde çevre ile ilgili ölçümler yaparak kayıt altına almaktadırlar. Bu algılayıcı sensörlerden en yaygın kullanım alanına sahip olanı kameralardır (Menteşoğlu & İnan, 2016; Villi & Yakar, 2022; Avdan vd., 2014). İHA'ların üzerine entegre edilebilen kamera türleri genellikle görünür ışık kameralarıdır. Ancak termal, multispektral, hiperspektral, oblik veya optik yakınlaştırma yapabilen kameraların kullanımı da gittikçe artmaktadır (Cilek vd., 2020; Çelik vd., 2020) (Şekil 3).



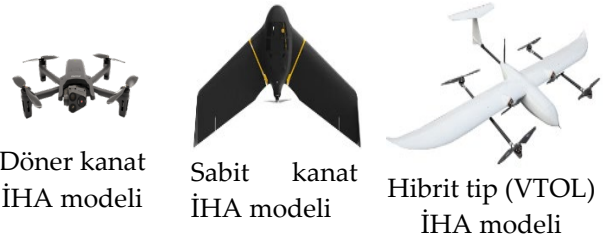
Şekil 3. İHA üzerinde entegre edilebilen kamera türleri (Villi & Yakar, 2022).

İHA'ların görevlerini doğru şekilde yapabilmeleri ve pilot komutlarını doğru şekilde yerine getirebilmeleri için üzerlerinde birçok elektronik bileşen bulunmaktadır (Donmez vd., 2021). Uçuş kontrol ünitesi, sensörlerden gelen verileri toplayarak İHA'nın uçuş güvenliğini ve komutların eksiksiz yürütülmesini sağlar. Bu sensörlerden bazıları şunlardır; eğim ve açı sensörü, hava basıncı sensörü, akım ve voltaj sensörü, motor devir sayıcı sensör, ısı sensörleri, akışkan hızı sensörüdür (Villi & Yakar, 2022) (Şekil 4).



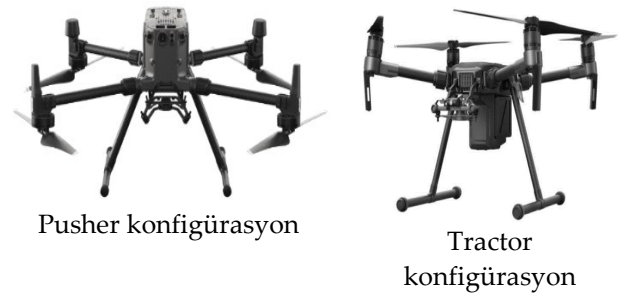
Şekil 4. İHA üzerinde bulunan sensörlerden bazıları.

İHA sistemleri çeşitli kategorilerde sınıflandırılmaktadır. Teknik kabiliyetlerine göre, fiziksel yapılarına göre, aerodinamik yapılarına göre, kanat yapılarına göre, motor ve batarya tiplerine göre, menzil ve irtifa değerlerine göre yapılan sınıflandırmalar en yaygın sınıflandırma metotlarıdır (Elmas, 2019). Türkiye Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü'ne (SHGM) göre İHA'lar ağırlıkları temel alınarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre 500 gr. ile 4 kg arasında olan İHA'lar İHA0, 4 kg ile 25 kg arasında olan İHA'lar İHA1, 25 kg ile 150 kg arasında olan İHA'lar İHA2 ve 150 kg'dan ağır olan İHA'lar İHA3 olarak sınıflandırılmıştır. (Bento, 2008) İHA'ları görev ve menzillerine göre sınıflandırmıştır. Örneğin 150 km'den düşük menzile sahip İHA'ları "çok yakın menzil", 150 km – 500 km arası menzile sahip İHA'ları "orta menzil" olarak sınıflandırmıştır. Bir başka yaygın kullanılan sınıflandırma olan kanat tiplerine göre sınıflandırmada ise "sabit kanat", "döner kanat" ve "hibrit" olarak ayrımlar mevcuttur (Şekil 5).



Şekil 5. Kanatlarına göre İHA tipleri.

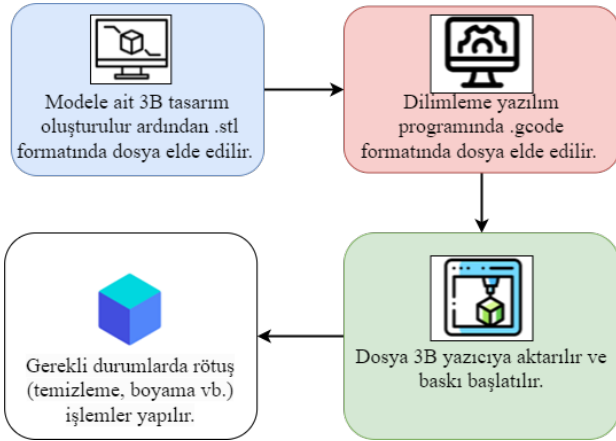
Döner kanat İHA'lar da kendi içinde alt sınıflara ayrılabilir. 2 motora sahip döner kanat İHA'lar "bicopter", 3 motora sahip olanlar "tricopter", 4 motora sahip olanlar "quadcopter", 6 motora sahip olanlar "hexacopter" ve 8 motora sahip olanlar "octocopter" olarak isimlendirilmektedir (Yakar vd., 2023). Bu motorların yerleşim yerlerine göre de "pusher" veya "tractor" tasarımlar vardır. Motorların yukarı yönlü olduğu tasarımlar "tractor", aşağı yönlü olduğu tasarımlar "pusher" olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Pusher ve Tractor tip tasarımlar.

3. 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri

3B yazıcılardan baskı elde etme işlemi, katmanlı (eklemeli) üretim prensibine dayanmaktadır. Katmanlı üretim, farklı türde malzemelerin (plastik, metal, kompozit vb.) dijital verileri kullanılarak, katmanların üst üste yığılması tekniğidir (Sürmen, 2019). 3B baskı için öncelikle baskı modelin bilgisayar desteli 3B yazılım programında tasarımının yapılması gerekmektedir. Daha sonra tasarım, “.stl” dosyası uzantılı olarak kaydedilir ve bu dosya dilimleme programına aktarılır. Dilimleme programında, gerekli baskı parametre ayarlamaları yapılarak katmanlı üretim için gerekli olan “.gcode” formatında dosya elde edilir. Gcode dosyası 3B yazıcıya yüklenerek, baskı işlemi başlatılır. Baskı işlemi tamamlandıktan sonra eğer gerekiyorsa destek elemanlarının temizlenmesi, boyama gibi rötuş işlemi yapılır ve nihai ürün elde edilir. 3B yazıcıdan baskı elde edilmesine ait aşamaları gösteren iş akışı, Şekil 7’ de yer almaktadır.



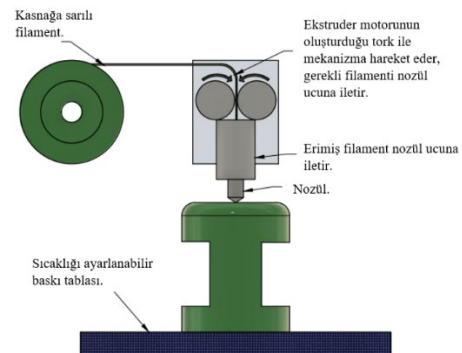
Şekil 7. 3B yazıcıdan baskı elde etmeye yönelik tipik iş akışı.

3B yazıcıların uygulama ve yöneme göre farklılaştığı birçok çeşidi bulunmaktadır. İlk olarak 1980’lerde 3B Systems şirketi tarafından sterolitografi (Stereolithography-SL) yöntemi ortaya çıkarılmış olup, bu yöntemi takiben geliştirilen diğer yöntemler, lamine nesne imalatı (Laminated Object Manufacturing-LOM), eriyik yığarak modelleme (Fused Deposition Modeling-FDM), seçmeli lazer sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS), katı zemin kürleme (Solid Ground Curing-SGC), 3B baskı (Three-Dimensional Printing-3BP) olarak sıralanabilir (Sürmen, 2019).

SLS teknolojisi, toz malzemenin karbondioksit lazer ışını ile eritilmesini esas alır. Uygulama sırasında ortam malzemenin erime noktasına kadar ısıtılır. Lazer ışını tasarımda belirtilen her katman için belirli bir konumda toz malzemeleri birleştirir. Katmanlar tamamlandığında baskı yüksekliği, tabakanın kalınlığı kadar aşağı inen bir piston tarafından kontrol edilir

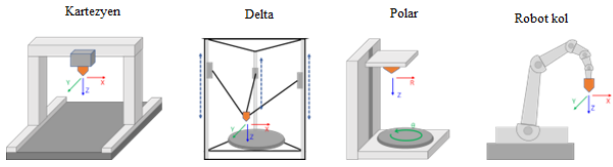
(Wong & Hernandez, 2012). SL yönteminde, fotosensitif monomer reçinelerin, UV ışınına maruz kaldığında reçinelerin foto polimerizasyonu yöntemine dayanır. SLA tekniğini kullanan cihazlarda, reçine banyosuna daldırmak için platform ile gerekli donanım ve yazılıma sahip lazer kaynağı bulunur. CAD (Computer-aided design: Bilgisayar destekli tasarım) ve dilimleme programında elde edilen veriler doğrultusunda, reçine yüzeyinde lazer ışını taramasından sonra ilk katman oluşur. Ardından platform katmanı, katman kalınlığı mesafesinde reçine içerisine daldırılır ve diğer katman oluşturularak önceki katmana bağlanır (Bikas vd., 2016). LOM, malzemelerin katman katman kesilmesi ve laminasyonuna dayanan bir üretim yöntemidir. Ardışık katmanlar, mekanik bir kesici ve lazer kullanılarak kesilir ve daha sonra bir araya getirilir. Bir araya getirilmesi sırasında önceden şekil verilmiş katmanlar kullanılabilir ya da birleştirme işleminden sonra şekil verilebilir (Ngo vd., 2018). SGC yöntemi foto-polimer esaslıdır her bir katmana ait geometrilerin üretimi, güçlü bir UV lamba ya da lazer kaynağı ve maske yardımı ile gerçekleşir (Bikas vd., 2016; Gebhardt, 2003). 3BP yönteminde, toz bazlı bir malzeme katman katman olacak şekilde, ince ince serilir. Mürekkep püskürtmeli baskı kafası vasıtasıyla toz parçaları üzerine iletilen sıvı yapıştırıcı parçacıkları bir araya getirir (Jadhav vd., 2019).

FDM teknolojisi 1980’li yıllarda geliştirilen eklemeli imalat yöntemleri arasında birçok endüstri tarafından yaygınlaştıran bir yöntemdir (Villi vd., 2023). Bu teknolojiye termoplastik malzemeden yapılmış filament malzemesi, makaraya tel şeklinde sarılır. Sonraki aşamada makara kısmı, tahrik dişlisi ile dönüş hareketi yapar. Haznede eriyen filament, baskı kafasında yer alan “nozzle” (nozül) ucundan (eriyik halde) baskı tablasına iletilir. Önceden belirlenmiş olan koordinat bilgileri ile baskı kafası hareket eder, böylelikle nozül ucundan eriyik filament, katmanları oluşturularak, 3B baskı üretimi sağlanır. Şekil 8’ de FDM 3B yazıcıların çalışma prensibini gösteren şematik diyagram yer almaktadır.



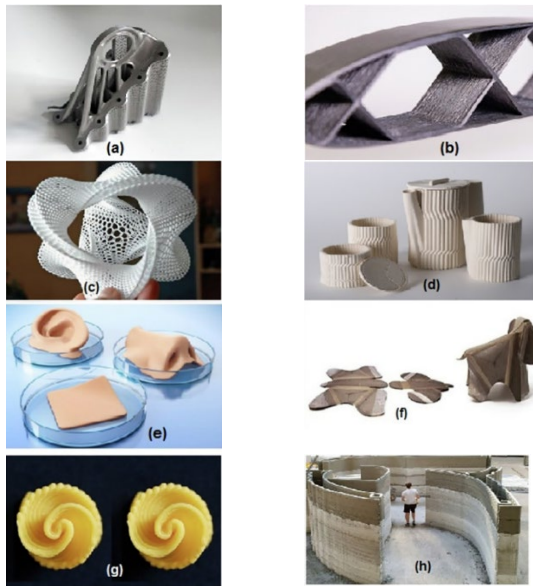
Şekil 8. FDM 3B yazıcı şematik diyagramı.

FDM 3B yazıcılar, konfigürasyonun değişikliği ile kartezyen, polar, delta ve robot kol olmak üzere, 4 farklı çeşide ayrılmıştır. Kartezyen FDM 3B yazıcılar, lineer bağlantılar ve ilgili mafsal elemanlarından oluşur ve x, y ve z eksenleri boyunca hareket sağlar. Baskı tablası z eksenini boyunca, baskı kafası ise x ve y eksenleri boyunca hareket edebilir. Polar FDM yazıcılarda, baskı tablası z eksenini etrafında dönüş hareketi yapar, baskı kafası ile x ve y eksenleri boyunca doğrusal hareket yapar. Delta FDM 3B yazıcılarda yuvarlak formda olan baskı tablası sabit olup, baskı kafasına bağlantılı her yöne hareket edebilen üç kol bulunmaktadır. Robotik kollu FDM 3B yazıcılarda, baskı kafası, robotik kolun uç kısmına yerleştirilir. Konum ve yön tamamen robotik kolun konfigürasyonu tarafından belirlenir (Dhanunjayara vd., 2020). Şekil 9' da farklı 3B FDM yazıcıların sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 9. 3B FDM yazıcıların sınıflandırılması (Fabweaver, 2022).

3B yazıcılar, fonksiyonel parçaları çeşitli malzeme türlerinde üretebilme yeteneğine sahiptirler. Bu malzemeler; seramik, metalik, polimer ile bunların hibrit ve kompozit kombinasyonları olabilir. (Shahrubudin vd., 2019; Tofail vd., 2018). Şekil 10' da farklı türde malzemeler kullanılarak elde edilen örnek baskılar yer almaktadır.



Şekil 10. (a) metal ve alaşımları; (b) kompozit; (c) polimer; (d) seramik; (e) biyomalzemeler; (f) akıllı malzemeler (g) gıda malzemesi; (h) yapı malzemeleri (Ranjan vd., 2022).

3B baskı işlemlerinde en çok tercih edilen malzemeler polimerlerdir. Kullanılabilirlik, yüksek mekanik özellikler, düşük maliyet, farklı 3B yazıcı çeşitlerinde kullanıma adaptasyon olabilmesi, polimer malzemelerin tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Polimer çeşitleri olarak; naylon, "Acrylonitrile-butadienestyrene" (ABS), "Polyethylene terephthalate" (PET), "High-impact polystyrene" (HIPS), "Polycarbonate" (PC), "Polylactic acid" (PLA), "Thermoplastic polyester" (TPC) ve "Polyether ether ketone" (PEEK) karmaşık yapıda geometrilere sahip baskıların elde edilmesinde sıklıkla kullanılırlar (Ranjan vd., 2022).

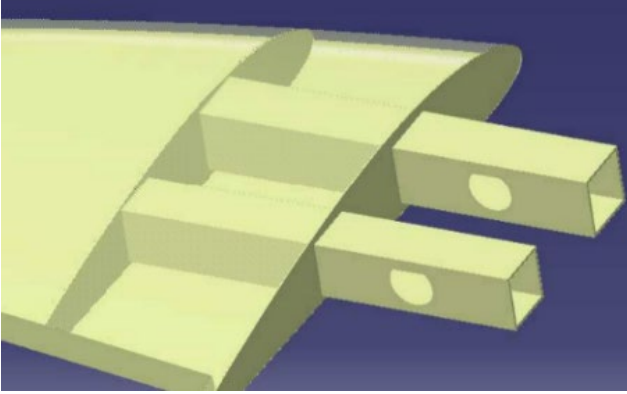
4. İHA Bileşenlerinin 3 Boyutlu Yazıcı ile Basılmasına Yönelik Literatür Çalışmaları

Bir İHA ne kadar fazla süre havada kalırsa o kadar çok veri toplayabilir. Dolayısı ile İHA kullanılan uygulamalarda en kritik parametre zamandır. Uçuş süresini arttırmak için yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur. Motor verimini arttırma, batarya ve yakıt sistemlerini iyileştirme, kanat ve pervane performanslarını arttırma bu çalışmalardan bazılarıdır. Ancak bu iyileştirmelerde çoğu zaman başka teknik sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Örneğin motor veriminin artması daha büyük pervane/kanat gerekliliğine sebebiyet verebilir veya batarya kapasitesinin artması motor ve elektronik hız kontrolcüsünün ısınmasına neden olabilmektedir. Uçuş süresini arttıracak bir diğer önemli parametre ise uçuş ağırlığıdır. Uçuş ağırlığı düştükçe motorların çektiği akım miktarı azalacak dolayısı ile batarya/yakıt tüketimi düşecektir. İHA tasarımında kullanılan ve kritik olmayan malzemelerde, metaller yerine plastik ve türevlerinin tercih edilmesi, ağırlıkların düşürülmesinde büyük öneme sahiptir. Ancak yüke veya ısıya karşı dayanıklı olması istenen parçalarda, polimerler malzemelerin tercihi daha kötü sonuçlara yol açabileceği için, İHA tasarımında kullanılan malzeme seçimlerinin iyi planlanmış olması gerekmektedir.

3B yazıcılar ile kritik olmayan İHA parçalarının üretilmesi son yıllarda oldukça popülerleşmiştir. Sadece İHA sistemlerinde değil Boeing, Airbus, SpaceX, Blue Origin, Rocket Lab gibi havacılık alanındaki büyük üreticiler dahi 3B yazıcı teknolojilerini ürünlerinde kullanmaktadırlar (Zagidullin vd., 2021).

(Ahmed & Page, 2013) yapmış oldukları çalışmada, 3B yazıcı ile bir İHA tasarımı üzerinde durmuşlardır. 3B yazıcıların hızlı ürün prototipleme ve konsept üretim yeteneklerinden faydalanmışlardır. Acil durumlarda kullanılmaya uygun, özellikle arama kurtarma faaliyetlerinde başarılı sonuçlar almak için,

montajı ve sahada kullanımı kolay, kabul edilebilir bir dayanıma sahip, 3B yazıcı ile üretilebilir bir sabit kanatlı İHA tasarımı yapmışlardır. Toplamda 3 kg ağırlığa sahip 3B baskı modeli, muadil İHA tiplerine göre oldukça hafif bir tasarıma sahiptir. Ayrıca kanatların bükülme ve burulma yüklerini sönmölemek için ekstra destek yapıları tasarlanarak İHA kanadının mukavemeti de artırılmıştır. Bu sayede baskı malzemesinin dezavantajları da azaltılmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Tasarlanan sabit kanat tip İHA kanadının iç tasarımı (Ahmed & Page, 2013).

Uçuş esnasında kanada etkiyen kuvvetler uçuş güvenliğini ve hava aracının stabilizasyonunu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Araştırmacılar bu sebeple kanada etkiyen kuvvetlerin yatay ve dikey etkilerini en aza indirmek için montaj borularının yuvalarını kare şekilde tasarlamışlardır. Son olarak, 3B yazıcıdan baskı alınan model rüzgar tüneline test edilmiştir. Araştırmacılar, geliştirdikleri İHA modelinin fabrikasyon modellere göre (kabul edilebilir parametreler ile) çok daha düşük maliyetli olabileceğini belirtmişlerdir.

Moon ve arkadaşları (Moon vd., 2014) yaptıkları çalışmada, sabit kanatlı bir İHA için optimum elastik performansa sahip şişirilebilir kanat tasarımları üzerinde durmuşlardır. Bu tasarımların basınç dayanımlarını analiz etmişlerdir. Çalışmalarında Objekt 350 3B yazıcı kullanmışlar ve foto polimer baskı malzemesi olarak polipropilen benzeri olan Objekt DurusWhite RGD430 tercih etmişlerdir (Şekil 12).



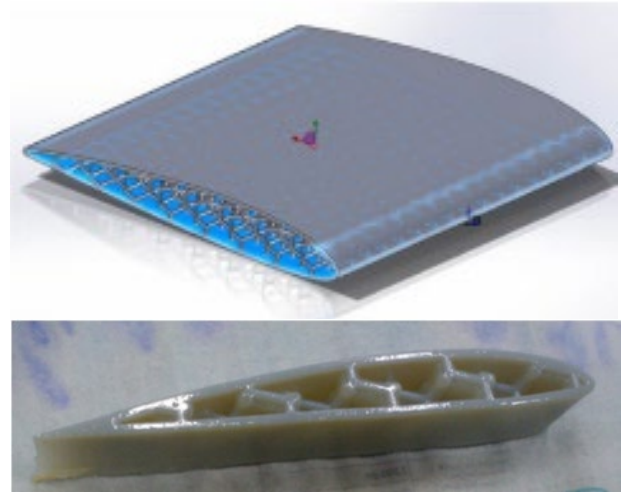
Şekil 12. Kullanılan 3B yazıcı ve baskı malzemesi.

Geliştirdikleri ve test ettikleri tasarımlar “3B Kagome”, “hexagonal diamond” ve “cross pyramidal” tipte olan yapılardır (Şekil 13).



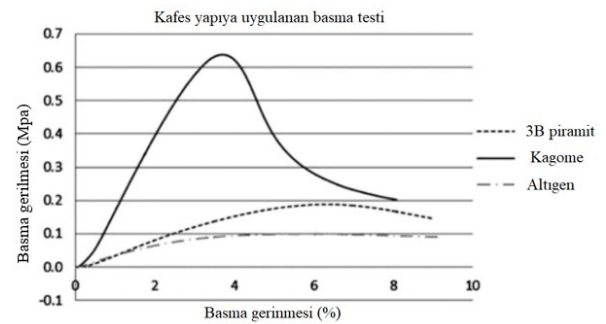
Şekil 13. Önerilen 3B kafes yapıları (Moon vd., 2014).

Bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımı ile önerdikleri kafes yapıları doğrultusunda oluşturulan kanat tasarımları üzerinde dayanım testleri yapmışlardır (Şekil 14).



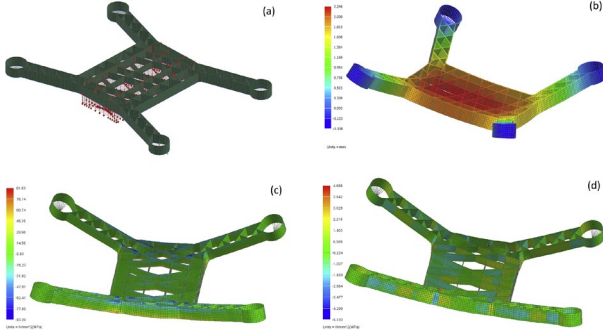
Şekil 14. CAD model olarak tasarlanan ve 3B olarak üretilen kanat yapısı (Moon vd., 2014).

Önerilen kafes yapıları, Instron 5900 Tabletop Universal Testing System test cihazı ile standart basma testlerine tabi tutulmuştur. Buna göre araştırmacılar, “3B Kagome” yapısı modeli ile oluşturulan kanat yapısının en iyi, altıgen modeli ile oluşturulan kanat yapısının ise en düşük dayanıma sahip olduğu sonucuna varmışlardır (Şekil 15).



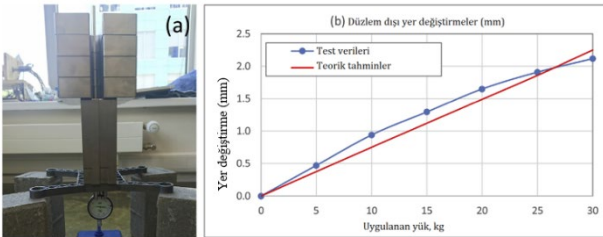
Şekil 15. Yapılan standart basma testi sonuçları (Moon vd., 2014).

Azarov vd. (2019), küçük boyuttaki bir İHA için kompozit şasisin tasarımı, analizi ve 3B yazıcı ile üretimi üzerine çalışmışlardır. Kompozit malzeme olarak karbon fiber takviyeli plastik (CFRP) kullanmışlardır. Baskı alınan test numuneleri üzerinde çekme deneyi ve üç nokta eğme deneyi yapılarak malzemenin mekanik özellikleri hakkında veri elde etmişlerdir. Bu verileri kullanarak da sonlu eleman analizi yapmışlardır. Şekil 16' da sonlu eleman analiz sonuçları yer almaktadır.



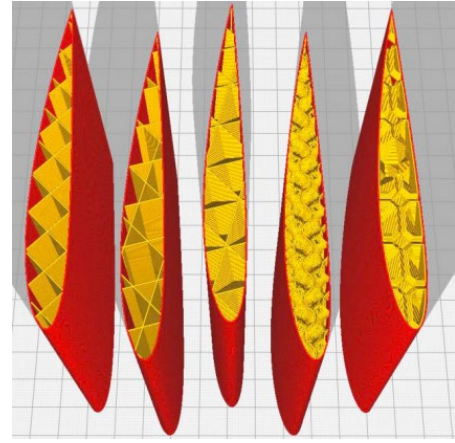
Şekil 16. Sonlu eleman analizi sonuçları (a) sonlu eleman modeli; (b) düzlem dışı yer değiştirmeler (mm); (c) boyunca hareket eden normal gerilmeler lifler (MPa); (d) Katmanlar arası kayma gerilmeleri (MPa) (Azarov vd., 2019).

Elde edilen İHA şasisinin düşük ağırlık ile birlikte yüksek rijitlik ve dayanıklılık sergilediği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, küçük boyutlu İHA parçalarının üretiminde 3B yazıcıların alternatif bir üretim yöntemi olarak kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Sonlu eleman analizi sonuçları ile deneysel sonuçlara ait karşılaştırma grafiği Şekil 17' de yer almaktadır.



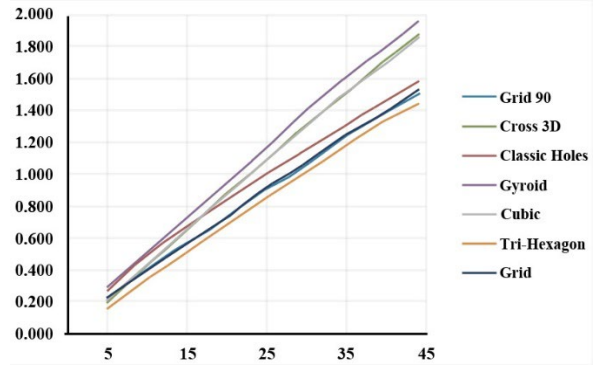
Şekil 17. Küçük boyutlu İHA şasisinin test edilmesi: (a) test; (b) sapma miktarı (Azarov vd., 2019).

Pecho vd. (2019) optimum hafiflik ve yük dağılımına sahip kanat modelleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında baskı materyali olarak PLA (poli laktik asit) kullanmışlardır. Creality CR-10S model 3B yazıcı ile, NACA2412 standart kanat profilini (airfoil) baz alarak, CURA dilimleme yazılımı (slicer software) yardımıyla ürettikleri kanat içi yapılarını (Şekil 18) karşılaştırmışlardır.



Şekil 18. CURA yazılımında farklı doluluk tiplerine göre dilimlenen kanat yapıları (Soldan sağa doğru: Grid, Tri-hexagon, Cubic, Gyroid, Cross-3D) (Pecho vd., 2019).

Farklı baskı parametreleri kullanarak ve doluluk tipini (infill type) değiştirerek tasarlanan kanat yapılarını stres testlerine tabi tutmuşlardır. 211 °C baskı sıcaklığında, yaklaşık %10 doluluk oranıyla, 15mm/sn baskı hızı ile üretilen numunelerin baskı süresi ortalama 10 saat sürmüştür. Üretilen kanat tiplerinin analizi sonucunda en sağlam olan yapının "Tri-Hexagon" doluluk tipine sahip kanat profili olduğunu, en esnek yapının ise "Gyroid" doluluk tipine sahip kanat profili olduğunu ortaya koymuşlardır (Şekil 19).



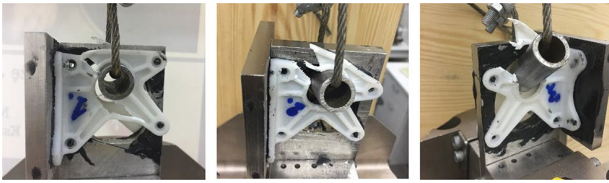
Şekil 19. Farklı doluluk tiplerine sahip kanatların kuvvet-gerinim grafiği (Pecho vd., 2019).

Mieloszyk vd. (2019), İHA bağlantı parçalarının 3B yazıcı kullanılarak üretilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. İnsansız hava aracına etki edecek yükleri C23 uçuş yönetmeliğine göre belirlemişlerdir. Bağlantı parçaları üzerine etki eden tepki kuvvetlerini hesaplamışlardır. Sonlu eleman analizi yöntemi ile bağlantı parçalarının tepki kuvvetleri altındaki mukavemetlerini hesaplamışlardır. Tasarımını yaptıkları bağlantı parçalarının üretiminde 3B yazıcı kullanmışlardır. Filament yönünün baskı kalitesine etkisini incelemek için farklı doğrultularda baskılar almışlardır (Şekil 20).

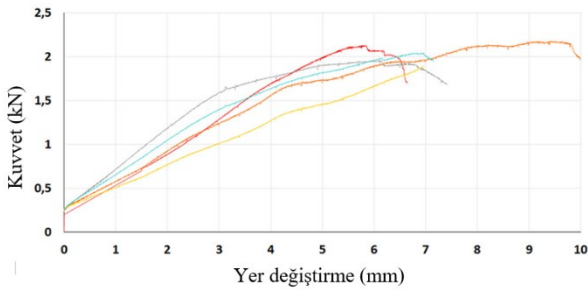


Şekil 20. Farklı doğrultularda basımı yapılmış bağlantı parçasına ait baskılar (Mieloszyk vd., 2019).

Elde ettikleri teorik sonuçları, çekme testi deneyi ile karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda güvenlik faktörünün 3 değerinde olup, öngörülen değerden yüksek olduğunu görmüşlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada, 3B yazıcı teknolojisini İnsansız hava araçlarının yüksek yük altında çalışan yapısal kritik parçalarının üretiminde bile kullanılabilir bir teknoloji olduğunu çıkarımına ulaşmışlardır. Şekil 21' de deneysel çalışmaya ait görseller ve veriler yer almaktadır.



a

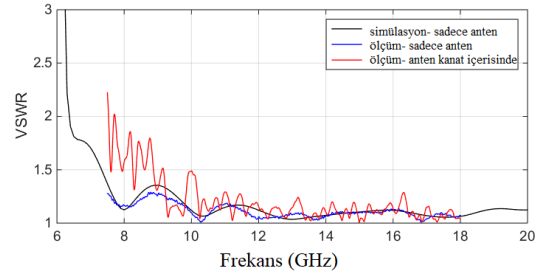


b

Şekil 21. (a) Bağlantı parçalarına uygulanan deneysel çalışmalar; (b) uygulana kuvvete karşılık boyunda uzama miktarı (Mieloszyk vd., 2019).

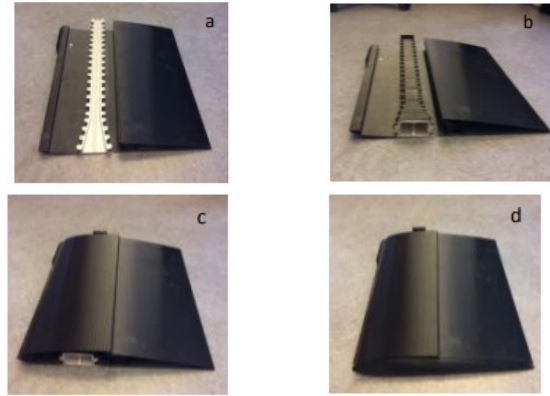
Hoel vd. (2016), Bir İHA kanadına gömülü 3B baskı ile elde edilen geniş bantlı dalga kılavuzu ve boynuz anten yapısının karakterizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, 7.5 ile 18 GHz aralığını kapsayan gömülü geniş bant dalga kılavuzu ve anten yapısına sahip bir İHA kanat kesitini ele almışlardır. Kanat yapısı tasarımını Solidworks bilgisayar desteli yazılım programında tamamlamışlardır. Ardından, ABS malzemesi kullanarak, 3B yazıcıda (Stratasys Fortus 400mc) üretimini yapmışlardır. HFSS kullanılarak, antenin tek başına ve tüm dalga kılavuzu anten yapısı için VSWR

ölçümünü yapmışlardır. Bununla birlikte, Keysight'in N5245A ağ analizörü kullanarak, VSWR ölçümü yapıp, sonuçları karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar Şekil 22' de yer almaktadır.



Şekil 22. VSWR değerinin simülasyon ve ölçüm sonuçları (Hoel vd., 2016).

Elde edilen sonuçlara göre, simülasyonlar ile ölçümler arasında iyi bir uyum göstermekle birlikte, simülasyonlarda belirtilenden biraz daha düşük bir kazanç elde edildiğini görmüşlerdir. (frekansa bağlı olarak 1-4 dB arasında). Bu durumun uygulanan gümüş bazlı boyanın mükemmel iletken özelliklere sahip olmamasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Üretim aşamasında, gerektiğinde elektro kaplama yapılarak bu sorunun aşılabileceğini belirtmişlerdir. Şekil 23' de üretilen kanat yapıları görülmektedir.



Şekil 23. Kanat içi bölünmüş dalga kılavuzu(a), kanat içi kaplanmış dalga kılavuzu (b), kanat kaplaması (c) ve radom (d) (Hoel vd., 2016).

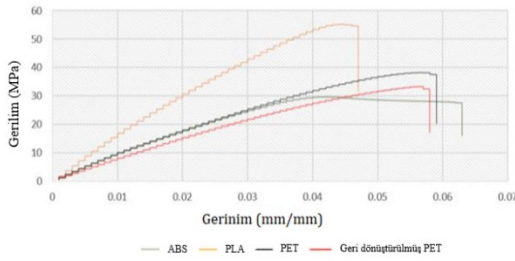
Mosaddek vd. (2018), yaptıkları çalışmada, geri dönüştürülmüş plastik şişe malzemesinden (PET) elde edilen filamentlerin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Elde ettikleri filament, katlanılabilir İHA gövdesi üretiminde kullanmışlardır. Oluşturdukları filament malzemesini, 3B baskıda sıklıkla kullanılan diğer malzemeler ile karşılaştırmışlar ve sonuçlarını sunmuşlardır. Bu çalışma kapsamında, İHA'nın üretim maliyetinin düşürülmesi, üretim süresinin kısaltılması ve çevresel atıkların azaltılması amaçlanmıştır.

Geri dönüştürülmüş PET filamentinden, numune test parçasının basımını yapıp çekme testine tabi

tutmuşlardır. Malzeme özelliklerini karşılaştırmak için, ABS, PLA ve PET kullanarak 3B yazıcıda numune test üretimi yapmışlar ve bu numuneleri çekme testine tabi tutmuşlardır. Malzemelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özelliklerine ait değerler ve gerilim-gerinim grafiği Tablo 1 ve Şekil 24' de yer almaktadır.

Tablo 1. Çekme testi deney sonuçları (Mosaddek vd., 2018).

Filament - Test	ABS	PLA	Orjinal PET	Geri Dönüştürmüş PET
Gerilme	29	55	38	33
Kırılma	27	54	37	31
Elastite	0.745	1.528	0.836	0.738
Akma	1.24	2.89	2.529	2.05
Uzama	4.8	2.7	2.9	3.2



Şekil 24. ABS, PLA, PET ve geri dönüştürülmüş PET malzemelerine ait çekme testi deney sonuçları grafiği (Mosaddek vd., 2018).

Araştırmacılar ayrıca, malzemelerin sıcaklık dayanımı ile ilgili mekanik özelliklerinin analizi için termal testlere tabi tutmuşlardır. Geri dönüştürülmüş PET filamentin camsı geçiş sıcaklığını, İHA'nın çalışma sıcaklığının üzerinde bir değer olan 200°C olarak bulmuşlardır. İHA üretiminde 3B yazıcı ile ürettikleri parçaları montajlayarak birleştirmişlerdir. Hava aracı gövdesi üzerinde yapılan sonlu eleman analizi simülasyonları ve fiziksel testler ile sistemin uçuş için güvenli ve işlevsel olduğunu kanıtlamışlardır. Katlanabilir geri dönüştürülmüş İHA, Şekil 25' de yer almaktadır.



Şekil 25. Çalışma sonucunda elde edilen katlanabilir geri dönüştürülmüş İHA (Mosaddek vd., 2018).

Yeh (2020) yapmış olduğu çalışmada, PLA ve karbon fiber kompozit malzeme kullanarak, 3B

yazıcıdan numune test parçaları elde etmiştir. Elde ettiği numune test parçalarının mekanik dayanımını belirlemek için çekme testi, bükme testi ve kayma testi uygulamıştır. Yaptığı testler sonucunda, dayanıklılık ve bükülme direnci bakımından karbon fiber kompozit malzemenin avantajlı olduğunu, orta boyutlu bir İHA pervanesi üretmek için kullanılabileceğini belirtmiştir. Uçuş testlerinde kullanmak üzere 8 inç ebatında İHA pervanesi tasarlamış ve FDM yazıcıda baskı almıştır. Şekil 26' da CAD yazılımında tasarımı yapılmış pervane ve İHA üzerindeki görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 26. Pervane tasarımı ve İHA üzerindeki görüntüsü (Yeh, 2020).

5. İHA Çıktılarının 3 Boyutlu Yazıcı ile Basılmasına Yönelik Literatür Çalışmaları

İHA'lar hızlı, hassas, düşük maliyetli ve analitik çözümler sunmaktadır. İHA'nın uydu görüntülerine göre düşük maliyetli ve yüksek çözünürlüğe sahip olması birçok alanda kullanımını artırmaktadır. İHA ile alınan görüntülerden, fotogrametrik değerlendirme yazılımları ile (Pix4D, Agisoft vb.) işlenerek çeşitli haritalar üretilebilmektedir. Ortofoto harita üretimi, sayısal yükseklik modeli görüntüsü, indeks haritaları, nokta bulutu görüntüleri ve 3B model haritaları üretimi bu çalışmalardan bazılarıdır.

3B harita üretimi sayesinde yeryüzü veya yerleşim yerlerine ait yapılar daha iyi anlaşılabilir. Örneğin 2 boyutlu bir ortofoto haritada binaların yan yüzeylerinin bilgisi bulunmaz. Sayısal yükseklik modeli görüntüsünde ise sadece renklendirmeler mevcuttur ve objeye ait görsel verisi yoktur (Kanun vd., 2021; Yakar & Mırdan, 2017). Nesnelerin gerçek görüntüsünün 3B model üzerine eklenmiş hali, gerçekçilik bağlamında büyük avantajlar sağlayarak o nesnenin durumunun daha net anlaşılmasını ve analizini kolaylaştırmaktadır (Yakar & Mırdan, 2017; Yakar & Doğan, 2017).

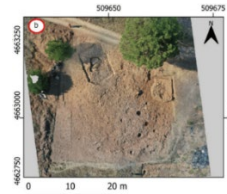
Özellikleri ve türleri önceki bölümlerde açıklanan 3B yazıcılar ile ölçekli şekilde baskılar elde edilebilmektedir. İHA görüntüleri kullanılarak oluşturulan 3B haritaların 3B çıktısının elde edildiği literatür çalışmalarında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Hem İHA görüntüleri hem yersel ölçümler hem de katı modelleme yazılımlarının birlikte kullanımı ise en verimli çıktılar ortaya koymuştur (Yakar & Mırdan, 2017).

Arkeolojik alanların, antik yapıların veya objelerin 3B modellenmesi çalışmaları, kültürel mirasın korunması açısından önem arz etmektedir (Kanun vd., 2021; Şasi & Yakar, 2017). Ayrıca bu çalışmalar restorasyon ve bakım işlerinin de aslına uygun şekilde yapılmasını sağlamaktadır (Yakar & Doğan, 2019).

İHA çıktılarının 3B yazıcı ile ürettiği literatür çalışmalarına aşağıda yer verilmiştir.

Yakar ve Doğan (2017), restorasyon işlemleri için İHA fotogrametrisi tekniklerinden faydalanmışlar ve Mezgit Kale Anıt Mezarı' nı 3B modelleyerek belgelemiştir.

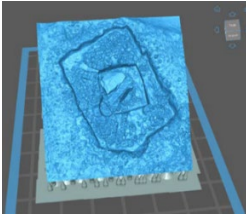
Fiz vd. (2022) yaptıkları çalışmada, arkeolojik kalıntıların İHA görüntülerini toplamışlar ve 3B modelini oluşturmuşlardır. Görünür ışık kamerası, termal kamera ve multispektral kamera kullanan araştırmacılar, Pix4D Capture, QGIS ve GIS SAGA yazılımlarını kullanarak ortofoto, indeks haritaları ve 3B modelleme yapmışlardır. Oluşturdukları 3B model görüntüyü CURA dilimleme yazılımında ölçeklendirerek düzenlemişler ve hem FDM hem de SLA teknikleriyle üretmişlerdir (Şekil 27).



Çalışma Alanı



3B Baskı ile Üretilecek Alan



Dilimleme



SLA Baskı Süreci



SLA Baskı

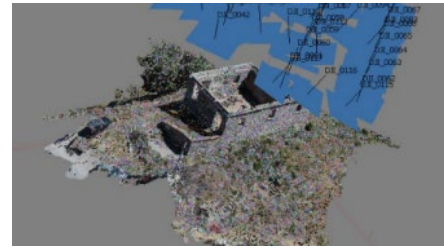


FDM Baskı

Şekil 27. FDM ve SLA teknikleriyle üretilmiş arkeolojik yapı (Fiz vd., 2022).

Araştırmacılar hem belgeleme hem de farklı lokasyonlarda sergilenme açısından arkeolojik yapıların 3B baskı teknikleriyle üretilmesinin büyük öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca arkeolojik yapıların görme engelli bireyler tarafından da incelenip anlaşılacağı sonucuna varmışlardır.

Fotia vd. (2021), İtalya'nın Kalabriya Bölgesi'nde bulunan antik bir kulenin 3B modellenmesi üzerinde çalışmışlardır. Yapının hava görüntülerini toplamak için Phantom 4 Pro model bir İHA kullanmışlar, %80 bindirme ve "double grid" yöntemle uçuş planı oluşturmuşlardır. Toplam 42 dakikalık uçuş yaparak 881 adet görüntü elde etmişlerdir. Metashape bilgisayar yazılımı ile görüntülerden 3B model oluşturmak için bir dizi prosedürler işletmişlerdir. İlk olarak görüntülerdeki ortak noktaları belirlemişler, ardından yoğun nokta bulutu oluşturmuşlardır. Yersel lazer tarama sistemleri ile yapının iç kısmının da nokta bulutunu oluşturmuşlardır. Yoğun nokta bulutlarını birleştirerek 3B çokgenler elde etmişler, son olarak ise dokuları ve 3B nihai modeli oluşturmuşlardır (Şekil 28).



Oluşturulan nokta bulutu



Yoğun nokta bulutu



Yersel lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu

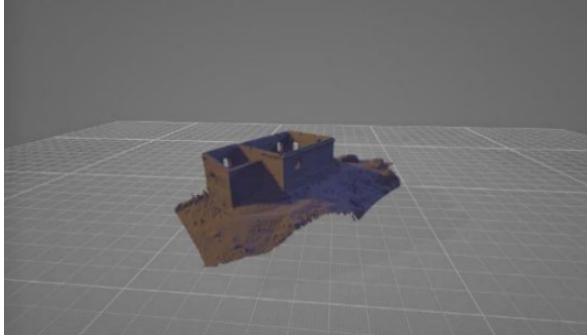


3B model

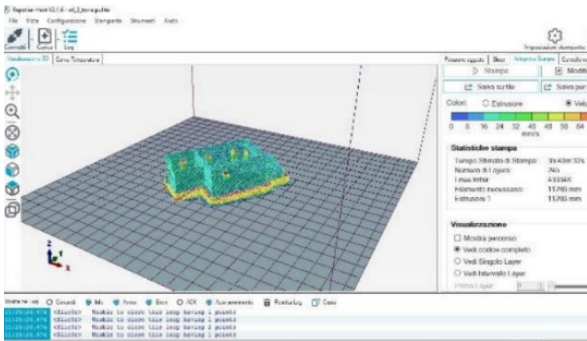
Şekil 28. Elde edilen çıktılar (Fotia vd., 2021).

Araştırmacılar tarihi yapının 3B modelini elde ettikten sonra 3B yazıcıdan 1:50 ölçekli olacak şekilde üretim sürecine geçmişlerdir. "Bq Hephestos 2" model bir yazıcı ve PLA kullanarak (FDM tekniği ile) modeli

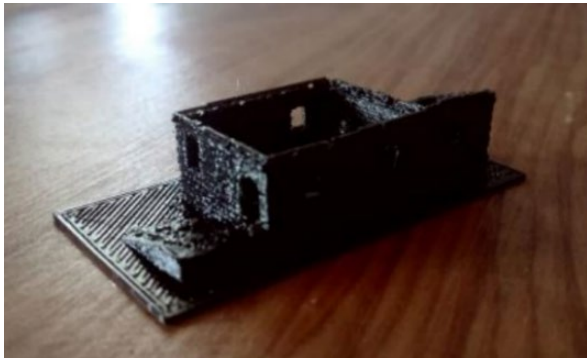
üretmişlerdir. Modeli üretirken 0.2 mm çözünürlük, %20 doluluk oranı, 80mm/sn yazma hızı ve 200 °C baskı sıcaklığı parametrelerini kullanmışlardır. Slic3r dilimleme yazılımı ile modelin kenarlarında kalan önemsiz alanları silmişler, böylece baskı süresini ve malzeme kullanımını azaltmışlardır. Baskı süresini 5 saat 30 dakika olarak ölçmüşlerdir (Şekil 29).



Düzenleme işlemi



Baskı ayarlarının Slic3r ile yapılması

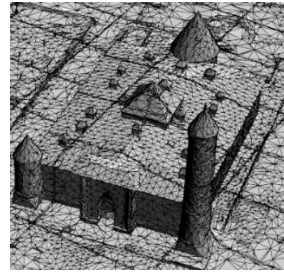


Üretilen 3B model

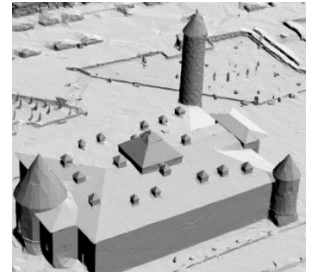
Şekil 29. Slic3r dilimleme programında düzenleme (Fotia vd., 2021).

Yiğit ve Ulvi (2020) yaptıkları çalışmada, Erzurum İli'nde bulunan Yakutiye Medresesi'nin İHA fotogrametrisi tekniği ile 3B modelini oluşturmuşlardır. Çalışmalarında Phantom 3 Pro model İHA kullanarak 65 adet fotoğraf toplamışlar ve fotogrametrik değerlendirme yazılımı olarak Context Capture programını kullanmışlardır. Context Capture'da öncelikle fotoğraf ekleme, fotoğraf işaretleme, yönlendirme (aerotriangulation) işlemleri yapılmış son olarak 3B üçgen model (mesh) ve ürün görselleştirme adımları tamamlanmıştır. Ardından Sketchup

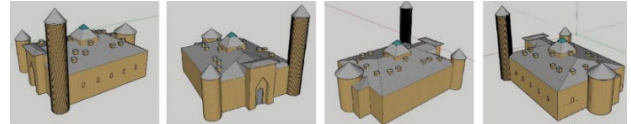
yazılımında geometrik şekiller çizilerek, 3B yazıcı ile üretilebilecek model nihai halini almıştır (Şekil 30).



3B üçgen model



3B katı model



Sketchup ile çizilen katı model

Şekil 30. 3B modelleme süreci (Yiğit & Ulvi, 2020).

Yakar vd. (2015) çalışmalarında Konya İli'nde bulunan Beyşehir Bezariye Hanının İHA ile 3B modelini oluşturmuşlardır. Çalışmalarında DJI Phantom 2 model bir İHA üzerine Canon A810 model görünür ışık kamerası entegre etmişlerdir. 30 metre irtifadan 274 fotoğraf toplamışlar ve Photomodeler fotogrametrik değerlendirme yazılımı ile dengeleme ve kamera kalibrasyonlarını tamamlamışlardır. Ardından çizim aşamasına geçilmiş ve detaylar oluşturulmuştur. Çizim işleminden sonra yüzeyleri kapatarak doku giydirmesi yapılmış ve nihai katı model oluşturulmuştur (Şekil 31).



Cephe görüntüsü



Çatı görüntüsü



Detayların çizilmesi



3B katı model

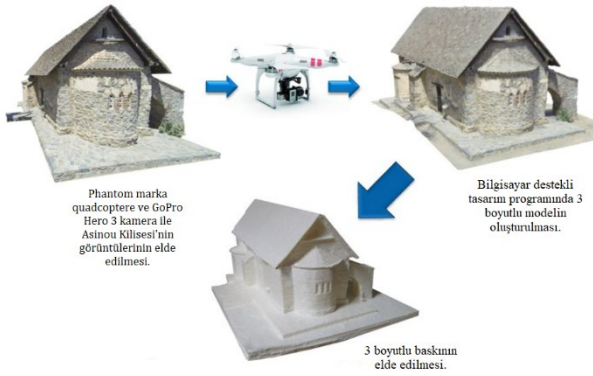


Doku giydirilmiş nihai model

Şekil 31. Beyşehir Bezariye Hanı'nın 3B modellenmesi (Yakar vd., 2015).

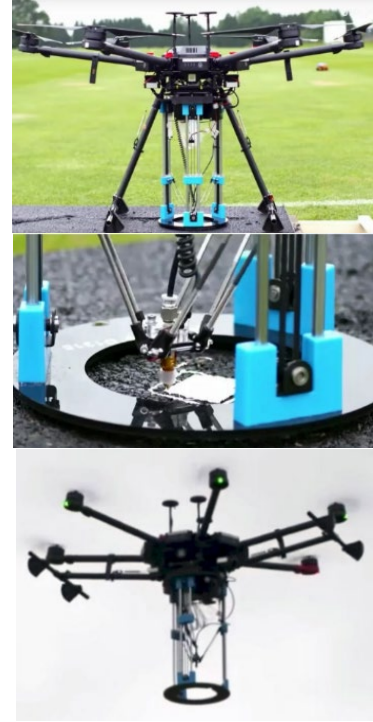
Araştırmacılar elde edilen 3B modelin belgeleme çalışmalarında, restorasyon süreçlerinde ve ölçeklendirilmiş 3B çıktı olarak üretilmesinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Themistocleous vd. (2015), Asinou Kilisesi'nin Kıbrıs'taki kültürel miras alanının belgelenmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Tarihi alan üzerinden görüntü almak için, DJI Phantom marka "quadcopter" tip İHA üzerine GoPro Hero 3 model kamera takmışlardır. 1000 den fazla görüntü elde etmişlerdir. 3B model elde etmek için, Agisoft PhotoScan Professional programı ile elde ettikleri görüntüler üzerinde rötuş işlemlerini yapmışlardır. Ardından 3B yazıcı kullanarak kiliseye ait baskı modelin üretimini yapmışlardır. İnsansız hava aracı kullanarak elde ettikleri görüntüleri 3B baskı modele dönüşümüne ait yöntem Şekil 32' de yer almaktadır.



Şekil 32. Asinou Kilisesi'nin 3B belgelenmesi için İHA ile elde edilen görüntülerin kullanımına ait işlem basamakları (Themistocleous vd., 2015).

Leeds Üniversitesi'nde yapılan bir araştırmada, İHA üzerine 3B tarayıcı ve 3B yazıcı ünitesi entegre edilmiştir. Araştırmada, İHA'nın bir asfalt boyunca uçarak çatlak, kırık ve yarıkları tespit etmesi ve onarması istenmektedir. İHA üzerine entegre edilen 3B tarayıcının onarılabilecek alanı tarayarak 3B model oluşturması ve ardından İHA'ya entegre olan 3B yazıcının, onarılabilecek alana hassas şekilde asfalt malzemesi eklemesi amaçlanmaktadır. Halen geliştirme aşamasında olan çalışmada çözülmesi gereken problemler de mevcuttur. Örneğin ağır malzeme olan asfaltın İHA üzerine eklenmesi uçuş sürelerini oldukça düşürecektir. Aynı şekilde 3B tarayıcı ve 3B yazıcının tükettiği enerji doğrudan İHA'nın batarya sistemine bağlıdır. Bu da uçuş sürelerini oldukça düşürecektir. Onarılabilecek alanın büyüklüğüne bağlı olarak harcanan asfalt malzemesinin sürekli olarak bir noktadan temin edilmesi, çalışmanın en büyük dar boğazlarından biridir (Fabbaloo, 2018). Aşağıdaki şekilde projeye ait bazı görsellere yer verilmiştir (Şekil 33).



Şekil 33. Asfalt onarım İHA sistemine ait görseller (Fabbaloo, 2018).

6. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada ilk olarak İHA'nın tanımı ve İHA modelleri açıklanmıştır. İHA ile yapılan literatür çalışmalarına örnekler verilmiştir. 3B yazıcıların çalışma prensiplerine değinilmiş ve 3B yazıcılarda kullanılan baskı malzemelerinin özellikleri açıklanmıştır. Ardından, İHA'yı oluşturan elemanların 3B yazıcı ile üretildiği literatür çalışmaları irdelenmiştir. Son olarak, İHA görüntüleri ile 3B model oluşturulduğu ve oluşturulan modellerin 3B yazıcıdan üretildiği çalışmalara yer verilmiştir.

Çalışmalar göstermektedir ki, 3B yazıcılar ile İHA parçalarının üretilmesi çoğu eleman için avantaj sağlamaktadır. Parçanın hızlı üretilmesi, maliyetinin düşük olması, parçanın çeşitli katı modelleme programları ile özelleştirilebilmesi ve hafiflik en büyük avantajlar olarak sayılabilir. Ancak 3B baskıların ısıya ve darbelere karşı dayanımı yüksek olmadığı için, İHA elemanlarının üretilip kullanılmasında dikkat edilmesi gerekmektedir.

İHA görüntülerinin 3B modellenmesi için çeşitli yazılımlar ve teknikler bulunmaktadır. Elde edilen 3B modeller, özellikle afet izleme, afet yönetimi ve analizi, arkeolojik çalışmalar ve mimari projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Elde edilen 3B modellerin 3B yazıcıdan ölçekli olarak üretilmesi de arkeolojik eserlerin belgelenmesi, restorasyonu ve röleve çalışmaları için oldukça verimli sonuçlar sunmaktadır.

3B modellerin üretilmesi ile görme engelli bireylerin arkeolojiyi anlaması kolaylaştırılabilir. Ayrıca, üretilen modellerin turistik eşya olarak

kullanılması da turizmin gelişmesine büyük katkılar verecektir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makalenin ortaya çıkmasında desteklerini ve teşviklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Murat YAKAR' a, desteklerinden ve katkılarından dolayı Sayın Öğr. Gör. Özge VİLLİ' ye ve mutluluk kaynağım kızım Eliz'e teşekkür ederim.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Ahmed, F., Mohanta, J. C., Keshari, A., & Yadav, P. S. (2022). Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(7), 7963-7984.
- Ahmed, N. A., & Page, J. R. (2013). Manufacture of an unmanned aerial vehicle (UAV) for advanced project Design using 3D printing technology. *In Applied Mechanics and Materials*, 397, 970-980.
- Akkamış, M. & Çalışkan, S. (2020). İnsansız Hava Araçları ve Tarımsal Uygulamalarda Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 8-16.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). 3D Model of Üçayak Ruins Obtained from Point Clouds. *Mersin Photogrammetry Journal*, 3(2), 37-40.
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Kuşak, L., Ünel, F. B., & Yakar, M. (2019). Anafi Parrot'un Heyelan Bölgesi Haritalandırılmasında Kullanımı. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 1(1), 33-37.
- Anand, S., & Mishra, A. K. (2022). High-Performance Materials used for UAV Manufacturing: Classified Review. *, International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)*, ISSN: 2455-6211, 10,(7).
- Atzeni, E., Iuliano, L., Minetola, P., & Salmi, A. (2010). Redesign and Cost Estimation of Rapid Manufactured Plastic Parts. *Rapid Prototyping Journal*, 16(5), 308-317.
- Avdan U, Şenkal E, Cömert R & Tuncer S (2014). İnsansız Hava Aracı ile Oluşturulan Verilerin Doğruluk Analizi. *V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2014)*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul.

- Aydeniz, A. B. (2020). İnsansız Hava Aracı İle Çekilen Görüntülerden Ve Videolardan Oluşturulan 3b Modellerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Bölümü*, Zonguldak, Türkiye.
- Azarov, A. V., Antonov, F. K., Golubev, M. V., Khaziev, A. R., & Ushanov, S. A. (2019). Composite 3D Printing for the Small Size Unmanned Aerial Vehicle Structure. *Composites Part B: Engineering*, 169, 157-163.
- Bento, M. D. F. (2008). Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. *InsideGNSS*, Ocak/Şubat: 54-61.
- Bikas, H., Stavropoulos, P., & Chryssoulouris, G. (2016). Additive Manufacturing Methods and Modelling Approaches: A Critical Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83, 389-405.
- Cairns, D. S., & Skramstad, J. D. (2000). Evaluation of Hand Lay-Up and Resin Transfer Molding in Composite Wind Turbine Blade Manufacturing (No. SAND2000-1425). Sandia National Lab. (SNL-NM), Albuquerque, NM (United States); Sandia National Lab. (SNL-CA), Livermore, CA (United States).
- Cilek, A., Berberoğlu, S., Dönmez, C., & Ünal, M. (2020). Generation of High-Resolution 3-D Maps for Landscape Planning and Design Using UAV Technologies. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 5(1).
- Çelik, M. Ö., Alptekin, A., Ünel, F. B., Kuşak, L., & Kanun, E. (2020). The Effect of Different Flight Heights on Generated Digital Products: DSM and Orthophoto. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2(1), 1-9.
- de Oliveira, T. L., & de Carvalho, J. (2021). Design and numerical evaluation of quadrotor drone frame suitable for fabrication using fused filament fabrication with consumer-grade ABS. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(9), 436.
- Dhanunjayarao, B. N., Naidu, N. S., Kumar, R. S., Phaneendra, Y., Sateesh, B., Olajide, J. L., & Sadiku, E. R. (2020). 3D Printing of Fiber Reinforced Polymer Nanocomposites: Additive Manufacturing. *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*, 1-29.
- Donmez C, Villi O, Berberoglu S & Cilek A (2021). Computer Vision-Based Citrus Tree Detection in a Cultivated Environment Using UAV Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106273.
- Easter, S., Turman, J., Sheffler, D., Balazs, M., & Rotner, J. (2013, May). Using Advanced Manufacturing to Produce Unmanned Aerial Vehicles: A Feasibility Study. In *Ground/Air Multisensor Interoperability, Integration, and Networking for Persistent ISR IV*, 8742, 20-35.
- Elmas, E. E. (2019). Bir İnsansız Hava Aracı Gerçekleştirme ve Hareketli Nesnelerin Tespit ve

- Takibinde Kullanımı. *Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 122s.*
- Erdoğan, A., Görken, M., & Kabadayı, A. (2022a). Study on the use of unmanned aerial vehicles in open mine sites: A case study of Ordu Province Mine Site. *Advanced UAV, 2(2)*, 35-40.
- Erdoğan, A., Görken, M., Kabadayı, A., & Temizel, S. (2022). Evaluation of green areas with remote sensing and GIS: A case study of Yozgat city center. *Advanced Remote Sensing, 2(2)*, 58-65.
- Erdoğan, A., Kabadayı, A., & Akın, E. S. (2021). Kültürel mirasın fotogrametrik yöntemle 3B modellenmesi: Karabıyık Köprüsü Örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 3(1)*, 23-27.
- Fabbaloo. (2018). Repairing Potholes with 3D Printers?. <https://www.fabbaloo.com/2018/07/repairing-potholes-with-3d-printers>. Erişim Tarihi: 12.06.2023.
- Fabweaver, 2022. Types of 3D Printing : FFF, Most Popular 3D Printer. <https://blog.fabweaver.com/3d-printing-method-fff-most-popular-3d-printer-0>. Erişim Tarihi: 02.06.2023.
- Fasel, U., Keidel, D., Baumann, L., Cavolina, G., Eichenhofer, M., & Ermanni, P. (2020). Composite Additive Manufacturing of Morphing Aerospace Structures. *Manufacturing Letters, 23*, 85-88.
- Fiz, J. I., Martín, P. M., Cuesta, R., Subías, E., Codina, D., & Cartes, A. (2022). Examples and Results of Aerial Photogrammetry in Archeology with UAV: Geometric Documentation, High Resolution Multispectral Analysis, Models and 3D Printing. *Drones, 6(3)*, 59. MDPI AG.
- Fotia, A., Modafferi, A., Nunnari, A., & D'Amico, S. (2021). From UAV Survey to 3D Printing, Geomatics Techniques for the Enhancement of Small Village Cultural Heritage. *WSEAS Transactions on Environment and Development, 17*, 479-489.
- Gebhardt IA (2003) Rapid prototyping: industrial rapid prototyping system: prototyper: solid ground curing, *Cubital*, 105-109.
- Goh, G.D., Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2017). Additive Manufacturing in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Challenges and Potential, *Aerospace Science and Technology*.
- Hoel, K. V., Kristoffersen, S., Moen, J., Holm, G., & Lande, T. S. (2016). Characterization of a 3D Printed Wideband Waveguide and Horn Antenna Structure Embedded in a UAV Wing. *In 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 1-4.
- Jadhav, T. R., Kamble, N. K., & Padave, P. R. (2019). A Review on Additive Manufacturing for Bio-Implants. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 8(11).
- Jiao, Z., Zhang, Y., Xin, J., Mu, L., Yi, Y., Liu, H., & Liu, D. (2019). A Deep Learning Based Forest Fire Detection Approach Using UAV and Yolov3. *In 2019 1st International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI)*, 1-5.
- Kabadayı, A. (2022). Maden Sahasının İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Fotogrametrik Yöntemle Haritalanması. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(1)*, 19-23.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2022b). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Kadastroda Binaların Konum Doğruluğunun İncelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi, 4(2)*, 66-72.
- Kabadayı, A., & Erdoğan, A. (2023). İHA Fotogrametrisi Kullanarak Yozgat Çilekçi Türbesi'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi, 5(1)*, 29-35.
- Kabadayı, A., Yunus, K., & Yiğit, A. Y. (2020). Comparison of documentation cultural artifacts using the 3D model in different software. *Mersin Photogrammetry Journal, 2(2)*, 51-58.
- Kanun, E., Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Cultural Heritage Modelling Using UAV Photogrammetric Methods: A Case Study of Kanlıdivane Archeological Site. *Advanced UAV, 1(1)*, 24-33.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Detection and Documentation of Stone Material Deterioration in Historical Masonry Structures Using UAV Photogrammetry: A Case Study of Mersin Aba Mausoleum. *Advanced UAV, 2(2)*, 51-64.
- Karataş, L., Alptekin, A., Karabacak, A., & Yakar, M. (2022). Detection and Documentation of Stone Material Deterioration in Historical Masonry Buildings Using UAV Photogrammetry: A Case Study of Mersin Sarisih Inn. *Mersin Photogrammetry Journal, 4(2)*, 53-61.
- Kruth, J. P., Leu, M. C., & Nakagawa, T. (1998). Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping. *Cirp Annals, 47(2)*, 525-540.
- Kusak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O., & Yakar, M. (2021). Apriori Association Rule and K-means Clustering Algorithms for Interpretation of Pre-event Landslide Areas and Landslide Inventory Mapping. *Open Geosciences, 13(1)*, 1226-1244.
- Menteşoğlu, B. E., & İnan, M. (2016). İnsansız Hava Araçlarının (İHA) Ormanlık Uygulamalarında Kullanımı. *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2016)*, 5-7 Ekim 2016, Adana.
- Mieloszyk, J., Tarnowski, A., Kowalik, M., Perz, R., & Rzakowski, W. (2019). Preliminary Design of 3D Printed Fittings for UAV. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 91(5)*, 756-760.
- Mirdan, O., & Yakar, M. (2017). Tarihi eserlerin İnsansız Hava Aracı ile modellenmesinde karşılaşılan sorunlar. *Geomatik, 2(3)*, 118-125.
- Mogan, J., Sandanamsamy, L., Halim, N. A., Harun, W. S. W., Kadrigama, K., & Ramasamy, D. (2021). A Review of FDM and Graphene-Based Polymer Composite. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1078(1)*.
- Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., & Alsharif, M. H. (2022). Towards the Unmanned

- Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones*, 6(6), 147.
- Moon, S. K., Tan, Y. E., Hwang, J., & Yoon, Y. J. (2014). Application of 3d Printing Technology for Designing Light-Weight Unmanned Aerial Vehicle Wing Structures. *International Journal of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology*, 1, 223-228.
- Mosaddek, A., Kommula, H. K., & Gonzalez, F. (2018). Design and Testing of a Recycled 3D Printed and Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing. In *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 1207-1216.
- Mr. Digital (2011). Quadcopter Frame Design. <https://n000000000icisdigital.wordpress.com/2011/06/22/frame-design/>. Erişim Tarihi: 02.06.2023.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Niemand, J., Mathew, S. J., & Gonzalez, F. (2020, September). Design and Testing of Recycled 3D Printed Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing. In *2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 892-901.
- Odo A, McKenna S, Flynn D & Vorstius J (2020). *Towards the Automatic Visual Monitoring of Electricity Pylons from Aerial Images. 15th International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, 566-573.
- Pecho, P., Azaltovic, V., Kandera, B., & Bugaj, M. (2019). Introduction Study of Design and Layout of Uavs 3D Printed Wings in Relation to Optimal Lightweight and Load Distribution. *Transportation Research Procedia*, 40, 861-868.
- Ranjan, R., Kumar, D., Kundu, M., & Moi, S. C. (2022). A Critical Review on Classification of Materials Used in 3D Printing Process. *Materials Today: Proceedings*.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. J. P. M. (2019). An overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296.
- Shin, D., Kim, H., Gong, J., Jeong, U., Jo, Y., & Matson, E. (2020). Stealth UAV through Coandă Effect. In *2020 Fourth IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)*, 202-209.
- Sivakumar, M., & TYJ, N. M. (2021). A Literature Survey of Unmanned Aerial Vehicle Usage for Civil Applications. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 13, e4021.
- Sürmen, H. K. (2019). Eklemeli İmalat (3b Baskı): Teknolojiler ve Uygulamalar. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 373-392.
- Şasi, A., & Yakar, M. (2017). Photogrammetric Modelling of Sakahane Masjid Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Turkish Journal of Engineering*, 1(2), 82-87.
- Themistocleous, K., Ioannides, M., Agapiou, A., & Hadjimitsis, D. G. (2015). The Methodology of Documenting Cultural Heritage Sites Using Photogrammetry, UAV, And 3D Printing Techniques: The Case Study of Asinou Church in Cyprus. In *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (Rscy2015)*, 9535, 312-318.
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive Manufacturing: Scientific and Technological Challenges, Market Uptake and Opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kıyı Çizgisinin Belirlenerek Mülkiyet Durumunun İncelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
- Villi, O., & Yakar, M. (2022). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73-100.
- Villi, Ö., Villi, O., & Yavuz, H. (2023). Concept Design for Optimizing Mass Production Processes with 3D Printer in the Industry. *Ases III. International Scientific Research Conference*, pp. 59-60, Trabzon, Türkiye.
- Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *International Scholarly Research Notices*.
- Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of Residential Areas with SfM Photogrammetry. In *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1), Tunisia 2018*, 73-75.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Mersin Silifke Mezgit Kale Anıt Mezarı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve Üç Boyutlu Modelleme Çalışması. *Geomatik*, 2(1), 11-17.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2017). Uzuncaburç Antik Kentinin İHA Kullanılarak Eğik Fotogrametri Yöntemiyle Üç Boyutlu Modellenmesi. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ankara*.
- Yakar, M., Toprak, A. S., Ulvi, A., & Uysal, M. (2015). Konya Beyşehir Bezariye Hanının (Bedesten) İHA ile Fotogrametrik Teknik Kullanılarak Üç Boyutlu Modellenmesi. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25, 28.
- Yakar, M., Ulvi, A., Fidan, Ş., Karabacak, A., Villi, O., Yiğit, A. Y., Çelik, M. Ö., & Hamal, S. N. G. (2023). İnsansız Hava Aracı Teknolojisi ve Operatörlüğü Eğitim Kitabı. *Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Kitapları*.
- Yakar, M., Ulvi, A., Yiğit, A. Y., & Alptekin, A. (2022). Discontinuity Set Extraction from 3D Point Clouds Obtained by UAV Photogrammetry in a Rockfall Site. *Survey Review*, 1-13.
- Yeh, Y. L. (2020). The Standard Strength Test of 3D Printing Materials and its Application for UAV Propellers. *Modern Physics Letters B*, 34(07n09), 2040017.

- Yiğit, A. Y., & Ulvi, A. (2020). İHA fotogrametrisi tekniği kullanarak 3B model oluşturma: Yakutiye Medresesi Örneği. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2(2), 46-54.
- Zagidullin, R. S., Zezin, N. I., & Rodionov, N. V. (2021). Improving the Quality of FDM 3D Printing of UAV and Aircraft Parts and Assemblies by Parametric Software Changes. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1027(1), 012031.
- Zagidullin, R. S., Zezin, N. I., & Rodionov, N. V. (2021). Improving the Quality of FDM 3D Printing of UAV

- and Aircraft Parts and Assemblies by Parametric Software Changes. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1027(1), 012031.
- Zhu, L., Li, N., & Childs, P. R. N. (2018). Light-Weighting in Aerospace Component and System Design. *Propulsion and Power Research*, 7(2), 103-119.



© Author(s) 2023.

This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>