



HAVACILIK ALANINDA ERİYİK YIĞMA MODELLEME UYGULAMASI: BOEING 737-800 MODEL UÇAĞIN 3 BOYUTLU ÖLÇEKLİ MODELLENMESİ

Hüseyin Caner GÖKÇE^a, Mustafa Özgür ÖTEYAKA^{a*}, Işıl YAZAR^a

^aEskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Programı, TÜRKİYE

* iyazar@ogu.edu.tr

ÖZET

Eklemeli imalat, 3 boyutlu katı nesnelerin sayısal bir dosya vasıtasıyla katman katman izleme stratejisi kullanılarak oluşturulduğu bir üretim sürecidir. Bu teknoloji, karmaşık şekillerin hafif ve mekanik özellikleri iyi olan malzemeler kullanılarak kısa sürede üretilmesine olanak sağlamaktadır. Termoplastik filament formunu kullanan EYM (eriyik yığma modelleme) üretim yöntemi, eklemeli imalat teknolojisinde geniş kullanım alanına sahiptir. Plastik prototipler kısa sürede ve düşük maliyetle üretilebilmektedir. PLA (poliaktik asit) termoplastik en iyi bilinen ve iyi mekanik özelliklere sahip olan eriyik yığma modelleme malzemesidir. Havacılık endüstrisinde de havacılığın önde gelen firmaları tarafından hava araçlarının farklı parçalarının üretiminde eklemeli imalat yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, rüzgâr tüneli testlerinde hızlı sonuçlar alınmaktadır. Bu çalışmada, BOEING 737-800 model uçağın ölçeklendirilmiş 3 boyutlu prototipi EYM teknolojisi kullanılarak Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Programı'nda dönem projesi kapsamında üretilmiştir. Proje kapsamında üretilen modelin bazı parçaları ayrıca basma testine tabi tutulmuş ve test sonuçları da çalışma içerisinde irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eriyik Yığma Modelleme (EYM). 3 Boyutlu Yazıcı. Katmanlı Üretim. Havacılık. Hava Aracı Tasarımı. Eklemeli İmalat. 3 Boyutlu Baskı Teknolojileri.

ABSTRACT

Additive manufacturing is a process of creating 3D (three dimensional) solid objects using a layer-by-layer following strategy via a digital file. This technology enables to build complex shapes with shortest processing times using materials that is light and have good mechanical properties. FDM (Fused deposition modeling), which uses termoplastic filament form, is widely employed in additive manufacturing technology. The plastic prototypes can be produced in a short-time and at lower cost by extrusion. PLA (Polylactic acid) termoplastic is the most known FDM material with good mechanical properties. In aviation industry, leading companies has already started to use additive manufacturing technology on different parts of aircrafts. Especially, fast results are obtained in wind tunnel tests. In this study, a 3D scaled model of BOEING 737-800 aircraft is manufactured using FDM technology which is a term project in Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir Vocational School, Department of Mechatronics. As a part of the project, some components of the manufactured aircraft are subjected to compression test and test results are evaluated in the study.

Keywords: Fused Deposition Modeling (FDM). 3D Printing. Additive Manufacturing. Aviation. Aerial Vehicle Design. 3D Print Technologies.

1. GİRİŞ

Günümüzde talaşlı imalat üretiminde zaman ve malzeme kaybı oldukça fazla yaşanmakta, bu nedenle üretim kayıplarının azaltılması amacıyla yeni teknolojiler araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Son zamanlarda adı sıkça duyulan eklemeli imalat teknolojileri, bu alan için önerilen gelişmiş üretim araçlarından biri olmakla beraber hâlihazırda geliştirilmesine halen devam edilmektedir. 3 boyutlu yazıcıların kullanıldığı bu teknolojinin gelecekte sektörde çok önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir. Çünkü kullanım alanları, yöntemleri ve faydaları oldukça geniştir. Sağlık, otomotiv, havacılık, mücevherat ve daha birçok sektör için kullanım açısından alternatif olarak sunulmaktadır [1-4]. Eklemeli imalat teknolojisinin faydaları; insan hatası durumu olmadığı için daha güvenli olması, üretilecek olan parçanın tasarlanıp üretilmesi çok kısa bir zaman diliminde gerçekleşeceğinden zaman tasarruf sağlaması ve üretilecek olan malzemenin hacmine göre hammadde kullanılacağından gereksiz malzeme kullanımını azaltması şeklinde sıralanabilir [5, 6]. Bu teknolojinin çalışma prensibi özetle, sanal ortamda tasarlanmış olan 3 boyutlu nesnelere, çeşitli malzemeler kullanılarak, 2 boyutlu bir düzlem üzerinde, üst üste ince katmanlar şeklinde yığılarak tasarlanmış obje somut hale getirilir. Eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak parça üretilebilmesi için çeşitli CAD/CAM programları kullanılmaktadır. Bu programlardan bazıları SolidWorks®, AutoCad®, Google SketchUp® vs. gibi 3 boyutlu tasarım yapılmasına imkân sunan programlardır. Tasarlanan obje '.stl' uzantısında dışa aktarılır ve 3 boyutlu yazıcı '.stl' uzantısını algılayarak üretim işlemini gerçekleştirir [7-9].

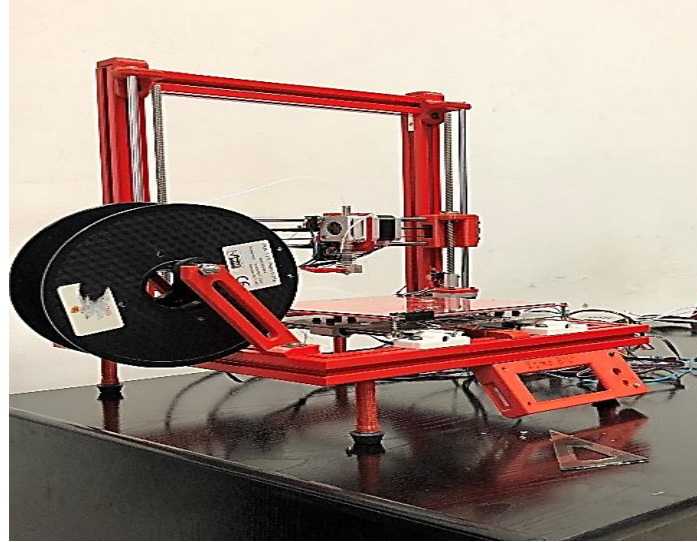
Scott Crump, 1989 yılında EYM (Eriyik Yığma Modeli) yöntemini keşfetmiş ve Stratsys Ltd şirketini kurmuştur. Daha sonrasında devam eden teknolojik gelişmeler, süresi dolan patentler, giderek düşen 3 boyutlu yazıcı ve hammadde fiyatlarının etkisi sayesinde artık bu teknoloji bireylere ve daha geniş kitlelere hitap etmeye başlamıştır. 2006 yılında başlatılan RepRap isimli açık kaynak projeli 3 boyutlu yazıcı uygulaması bu üretim tekniğine farklı bir kullanım kolaylığı kazandırmış ve bir üç boyutlu yazıcının neredeyse yüzde 50'lik kısmını oluşturan parçaların üretimine olanak sağlamıştır. Geriye kalan eksik parçalar ise ucuz bir ücret karşılığında temin edilebilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu sayede kullanıcılar kendi 3 boyutlu yazıcılarının birçok parçasını üretebilecek ve üzerinde geliştirmeler yapabilecek kapasiteye ulaşmışlardır [5, 8, 10, 11].

Havacılık endüstrisinde yer alan birçok firma 3 boyutlu yazıcıların avantajlarından yararlanarak farklı uçak parçalarının üretim denemelerine başlamıştır. Örneğin, Boeing firması ticari uçakları 737, 747, 777 ve 787 için lazer sinterleme tekniği kullanılarak çeşitli prototip termoplastik parçalar üretmiştir [12]. Bu teknolojiyi kullanarak Boeing firması üretilen her bir 787-Dreamliner uçağından 3 milyon dolar kar etmektedir [13]. Üretilen bu parçaların bazıları karmaşık bir yapıya sahip olmasına rağmen, 3 boyutlu yazıcı teknikleri ile daha kısa sürede, daha az maliyette ve istenilen özelliklerde, imalat limitlerini ortadan kaldırarak üretim işlemleri gerçekleştirilmektedir [1, 14-17].

Bu çalışmada, son yıllarda havacılık sektöründe de kullanılmaya başlanan ve gelecek vadeden imalat teknolojilerden biri olan eklemeli imalat teknolojisi ve EYM tekniği kullanılarak 3 boyutlu prototip model uçak üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, bu teknik ile üretilen uçak modelinin; toplam üretim süresi, parça birleştirme tekniği ve maliyet parametreleri araştırılmıştır. Bu kapsamda, yapılan çalışmada EYP tipi 3 boyutlu yazıcı yardımı ile Boeing firmasının 737-800 model uçağı ölçeklendirilerek ve EYM tekniği kullanılarak bir adet prototipi üretilmiş ve yukarıda bahsedilen parametreler araştırılmıştır. Ayrıca üretilen parçalardan bazıları basma testine tabi tutulmuş ve sonuçları irdelenmiştir.

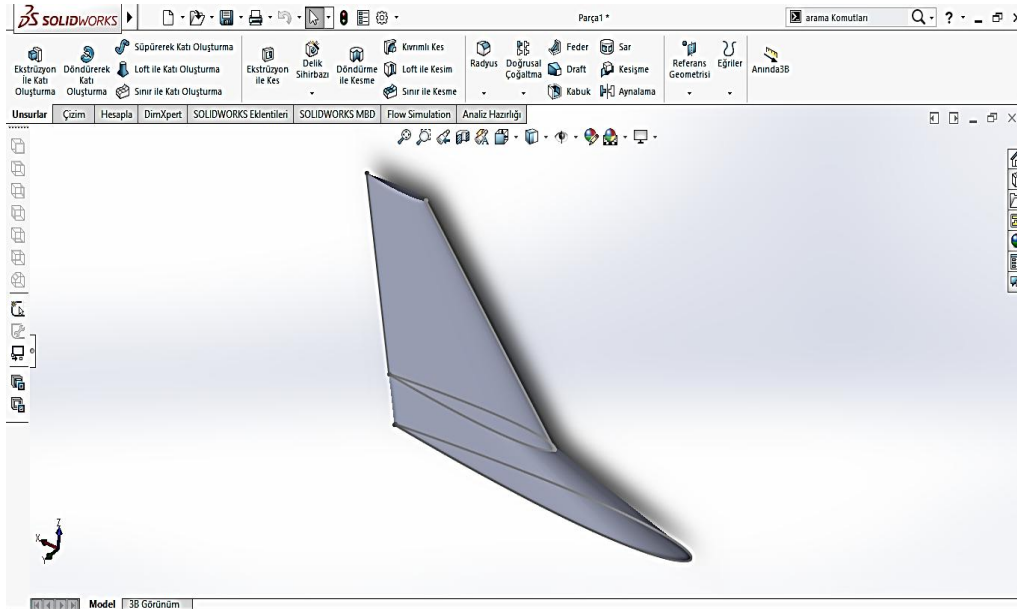
2. MATERYAL VE YÖNTEM

İmalat aşamasında kullanılan 3 boyutlu yazıcının genel görüntüsü şekil 1'de görülmektedir. 200mm*200mm*200mm baskı alanına ve 0,5 mm hassasiyete sahiptir. Baskı işleminde ise 1,75mm kalınlığında, inci beyazı renğinde, PLA filament tercih edilmiştir. Ekstrüder sıcaklığı 220°C, tabla sıcaklığı ise 75°C olarak filamentin uygun basım sıcaklık değerlerine göre ayarlanmıştır.

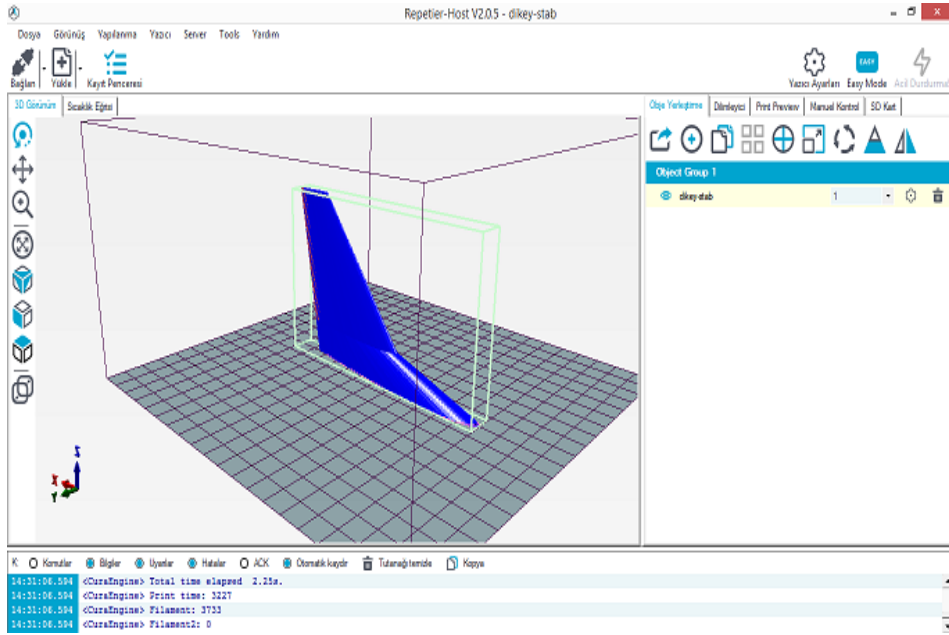


Şekil 1. Üretimde kullanılan 3 boyutlu yazıcı

3 boyutlu yazıcıda ölçeklendirilmiş prototip üretimi gerçekleştirilen Boeing 737-800 model uçak gerçekte 39.47 metre boy uzunluğuna (radon başından elevatör bitimine kadar olan mesafe), 34.32 metre kanat açıklığına sahiptir [18]. Uçağın 3 boyutlu yazıcıdan basılabilmesi için '.stl' uzantılı çizim dosyasına ihtiyaç duyulmuş, katı modelleme için çizim programı olarak SolidWorks® programı tercih edilmiştir [19]. Boeing 737-800 model uçağın ölçüleri milimetre (mm) birimine çevrilip gerçek ölçülerine göre SolidWorks programı üzerinde çizilmiş (Şekil 2), daha sonra dosya '.stl' uzantısı formatında kaydedilip Repetier(Opensource) programı yardımı ile yaklaşık 1/75 oranında ölçeklendirilerek 3 boyutlu yazıcıya aktarılmıştır (Şekil 3). Dilimleyici CuraEngine olarak seçilmiş olup, yazıcı ayarlarından kalite: 0,2 mm, hız: 40 mm/s ve baskı yoğunluğu % 30 olarak ayarlanmıştır.



Şekil 2. Solidworks 2017 (Öğrenci Sürümü) programı ekran görüntüsü.



Şekil 3. Repetier (Opensource) programı ekran görüntüsü.

Baskı işlemi için kullanılan 3 boyutlu yazıcının tablası, ölçeklendirilmiş olan Boeing 737-800 model uçağın yekpare olarak basılması için elverişli olmaması sebebiyle kesitleri alınarak birleştirilebilir-modüler bir yapıda basılmıştır. 3 boyutlu yazıcıdan üretilen uçak parçalarının dayanıklı ve sağlam bir biçimde birleştirilebilmesi için beş dakika işlem süreli epoksi temelli yapıştırıcıların kullanılması ile montaj işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kanat ve yatay stabilizatör parçaları ayrıca basma deneyine tabi tutulmuştur. Basma deneyinde SHIMADZU AG-IS 250 kN cihaz kullanılmıştır ve her bir numune için basma hızı 1 mm/dak olarak seçilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Basma deneyinde kullanılan cihazın görüntüsü.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA



3 boyutlu yazıcıdan üretilen 11 parçanın yapıştırma işleminden sonra elde edilen 52,5 cm uzunluğa (radon başından elevatör bitimine kadar olan mesafe), 45,5 cm kanat açıklığına sahip prototipi Şekil 5’de gösterilmektedir. 3 boyutlu yazıcı ile başarılı bir şekilde üretilen parçalar, yapıştırma işleminde kullanılan epoksi yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Yapıştırma işleminde yüzeylere ek bir zımparalama gibi mekanik yüzey işlemleri yapılmamıştır. Yapıştırılan yüzeyler 5 dakika içinde kurumuş olup ayrılmaz iki parça olmuştur. Rüzgâr tüneli testlerinde iyi mekanik özellikler istenmesi nedeniyle bir sonraki çalışmamızda yapıştırma tekniği kullanmadan prototipin farklı yöntemler kullanılarak örneğin, sıkı geçme tekniği, kilit sistemi gibi yeni metotlar ile güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca mekanik özellikleri daha iyi olan yeni filamentler örneğin, ABS (Akrilonitril Bütadin Stiren), PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol) gibi farklı malzemelerin kullanılması da planlanan çalışmalar arasındadır.



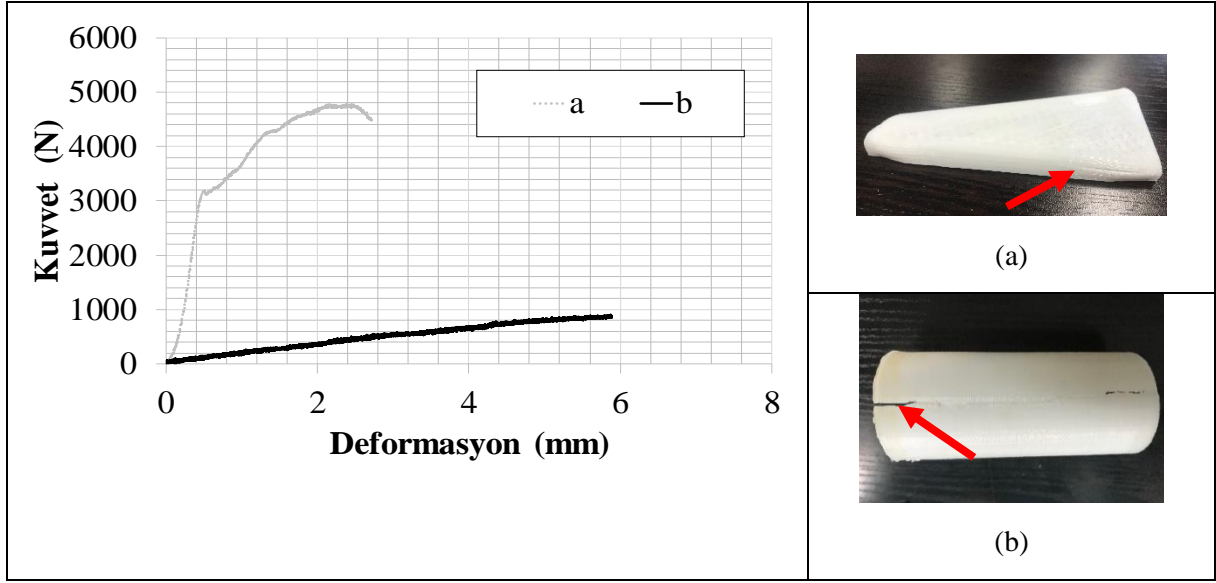
Şekil 5. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen Boeing 737-800 model uçak.7

Çizelge 1’de üretilen parçaların resimleri, basım süresi ve tüketilen filament miktarları belirtilmektedir. Gövdenin kalınlığı ve uzunluğundan dolayı gövde-2 nolu parçada en çok filament tüketimi gerçekleşmiştir. Buna karşın en az filament tüketimi yatay stabilizatörde görülmüştür. Modeli oluşturmak için toplam 11 parça 6 saat 52 dakika 9 saniye’de üretilmiştir. Diğer taraftan, bu projede 1kg kütle ve 1,75mm çapa sahip olan PLA filament topu yaklaşık olarak 330 m uzunluğa ve ortalama olarak 95 TL civarı fiyata alınmıştır. Üretilen prototip uçakta toplam 53573mm filament harcanmıştır. Bu harcanan filamentin maliyeti yaklaşık olarak 16 TL’ye tekabül etmektedir.

Çizelge 1. Boeing 737-800 model uçağın prototipi için üretilen parçalar ve özellikleri.

| | | |
|--|---|--|
| a) Kuyruk Konisi (1 adet) Basım Süresi: 53dk.51sn Gerekli Filament: 7103 mm | b) Dikey Stabilizatör (1 adet) Basım Süresi: 50dk.58sn Gerekli Filament: 6966 mm | c) Burun (1 adet) Basım Süresi: 54dk.38sn Gerekli Filament: 7088 mm |
|  |  |  |
| d) Gövde-2 (1 adet) Basım Süresi: 1s.10dk.27 sn Gerekli Filament: 9584 mm | e) Gövde-1 (1 adet) Basım Süresi: 59dk.55sn Gerekli Filament: 8160 mm | f) Sol Kanat (2 adet) Basım Süresi: 30dk.20sn Gerekli Filament: 4098 mm |
|  |  |  |
| g) Sağ Kanat (2 adet) Basım Süresi: 20dk.35sn Gerekli Filament: 2037mm | h) Yatay Stabilizatör (2 adet) Basım Süresi: 10dk.15sn Gerekli Filament: 1201mm | |
|  |  | |

Genel olarak değerlendirildiğinde, 3 boyutlu yazıcı ile orta kalitede Boeing 737-800 model uçağın parçaları üretilmiş olup yapıştırma yöntemi ile prototipi başarılı şekilde elde edilmiştir. Şekil 6'da, üretilen uçak prototipin iki parçasına (Sağ Kanat ve Yatay Stabilizatör) basma deneyinde uygulanan basma kuvvetine karşılık deformasyon grafiği çizilmiştir. Basma kuvvetine en dayanıklı parça 4735 N maksimum kuvvet ile sağ kanat parçası olmuştur. Buna karşın, yatay stabilizatör en fazla 867 N yüke dayanabilmiştir. Burada gövdenin basma kuvveti direncinin kanat parçasına göre düşük çıkmasının nedeni uygulanan kuvvet/kesit oranının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Basma deneyi sonucunda; kanadın gövde ile birleştiği bölge, gövdenin ise boylamasına kırıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Basma deney sonuçları; a) Uçak prototipi sağ kanat parçası b) Uçak prototipi yatay stabilizatörü.

Bir sonraki çalışmada yapıştırma yerine farklı birleştirme yöntemleri denenmesi ve bu sayede mekanik özelliklerin daha iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Üretilcek yeni nesil prototip çekme deneyi gibi testlere de tabi tutulacaktır. İkinci hedeflenen amaç ise prototipin rüzgâr tüneli testlerine de sokulmasıdır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş olan ve toplam 11 parçadan oluşan Boeing 737-800 model uçağın eklemeli imalat yöntemi ile üretilen prototip modeli, parçaların yapıştırma yöntemi ile birleştirilmesi sonucu başarı ile üretilmiştir. Yapıştırma yöntemi mekanik özellikler açısından zayıf olmasına karşın gövde bütünlüğünü korumuştur. Diğer taraftan 52,5X45,5 cm boyutlarına sahip prototip toplam 6 saat 52 dakika 9 saniye sürede üretilmiştir. Prototipin üretiminde 53573mm filament harcanmıştır ve yaklaşık 16 TL'ye malolmuştur. Basma deneyi sonucunda kanat kısmının gövdeye göre basma direncinin yaklaşık olarak 5 kat fazla olduğu tespit edilmiştir. İzleyen çalışmalarımızda mekanik özellikleri iyileştirmek için farklı filament ve birleştirme yöntemlerinin uygulanması, bu uygulamaların deneysel olarak test edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Coykendall J, Cotteleer, M., Holdowsky, L., Mahto, M. . 3D Opportunity in Aerospace and Defense. Deloitte University Press; 1–28, 2014.
2. Rengier F, Mehndiratta A, von Tengg-Kobligk H et al. 3D printing based on imaging data: review of medical applications. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery; 5: 335-341, 2010.
3. Erdoğan H. 3B Biyomodel Üretimi İçin Medikal Görüntüleme Tekniklerinin Karşılaştırılması. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry 2018; 2: 8-15.
4. Kürtüncü M, Arslan, N , Yaylacı, B , Eyüpoğlu, N . Sağlıkta Gelişen Teknoloji: Üç Boyutlu Yazıcılar. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry; 2: 99-110, 2018.
5. Karagöl B. 3D Printing: What does it offer and for whom?. Science And Technology Policies Research Center, Metu-Tekpol,. Working Paper Series; 15: 1–17, 2015.
6. Thompson MK, Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B., Martina, F., . Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. CIRP Annals; 65: 737–760, 2016.

7. Laureijs RE, Roca, J. B., Narra, S. P., Montgomery, C., Beuth, J. L., Fuchs, E. R. H. . Metal Additive Manufacturing: Cost Competitive Beyond Low Volumes. . Journal of Manufacturing Science and Engineering; 139, 2017.
8. Matias E, Rao, B. . 3D Printing: On Its Historical Evolution and the Implications for Business. . 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET); 551-558, 2015.
9. Ngo TD, Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., Hui, D. . Additive Manufacturing (3D printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. Composites Part B Engineering; 143: 172-196, 2018.
10. Baussart D. 3D Printing and the Aviation Industry: The Likely Impacts of a Disruptive Technology in the Manufacturing & Designing Processes In. Stockholm, Sweden: 2014.
11. Pîrjan A, Petroşanu, D.-M. . The Impact of 3D Printing Technology on the Society and Economy. Journal of Information Systems & Operations Management; 7: 360–370, 2013.
12. Weller C, Kleer R, Piller FT. Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. International Journal of Production Economics; 164: 43-56, 2015.
13. <https://www.techcentral.ie/boeing-turns-3d-printed-parts-save-millions-787-dreamliner/>. Boeing turns to 3D-printed parts to save millions on 787 Dreamliner. In. 04.12.2018.
14. Brischetto S, Ciano, A., Ferro, C. G. . A Multipurpose Modular Drone with Adjustable Arms Produced via the FDM Additive Manufacturing Process. Curved and Layered Structures; 3: 202–213, 2016.
15. Goh GD, Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., Yeong, W. Y. . Additive Manufacturing in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): Challenges and Potential. Aerospace Science and Technology; 63: 140-151, 2017.
16. Junk S, Schröder, W., Schrock, S. . Design of Additively Manufactured Wind Tunnel Models for Use with UAVs. Procedia CIRP; 60: 241–246, 2017.
17. Özbek E, Durmuş, S., Şöhret, Y., Karakoç, T. H. . Elektrik Motorlu ve Yüksek Faydalı Yük Oranlı Mikro Sınıfı Bir İha Tasarımı Üretimi ve Testleri. Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi; 1 80–91, 2016.
18. Fordham RC. Airport Planning in the Context of the Third London Airport. Economic Journal; 80: 307-322, 1970.
19. Dassault S. Solidworks (student Edition). In. 2018.