



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

3B YAZICILARIN MESLEKİ VE TEKNİK EĞİTİMDEKİ UYGULAMALARININ VE POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: İSKENDERUN MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ

INVESTIGATION OF THE APPLICATIONS AND
POTENTIAL OF 3D PRINTERS IN VOCATIONAL AND
TECHNICAL EDUCATION: ISKENDERUN VOCATIONAL
SCHOOL OF HIGHER EDUCATION CASE

Yazarlar (Authors): Mustafa Çakır*^{id}, Selçuk Mıstıkoğlu^{id}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çakır M., Mıstıkoğlu S., “3B Yazıcıların Mesleki Ve Teknik Eğitimdeki Uygulamalarının Ve Potansiyellerinin İncelenmesi: İskenderun Meslek Yüksekokulu Örneği” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(3): 488-500, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.955073

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

3B YAZICILARIN MESLEKİ VE TEKNİK EĞİTİMDEKİ UYGULAMALARININ VE POTANSİYELLERİNİN İNCELENMESİ: İSKENDERUN MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ

Mustafa Çakır^{a*}, Selçuk Mıstıkoğlu^b

^a İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, TÜRKİYE

^b İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: mustafa.cakir@iste.edu.tr

(Geliş/Received: 21.06.2021; Düzeltme/Revised: 07.09.2021; Kabul/Accepted: 25.11.2021)

ÖZ

3B (3 boyutlu) yazıcılar her geçen gün hayatımıza biraz daha eklenmektedirler. Buradaki en önemli etki hiç şüphesiz her geçen gün ucuzlayan fiyatları ve yeni kullanım alanlarının keşfidir. 3B yazıcıların eğitimde özellikle de mesleki ve teknik eğitimde kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. 3B yazıcılar, bu alanda tasarım yapan kimseler için hiç şüphesiz ki fikirleri sanal ortamdan somut bir sonuca dönüştürmeye yarayan önemli araçlardır. Bu araçlar sayesinde, tasarım sonrası prototipleme aşamasında, öğrenciler türlü kazanımlar elde etmektedirler. 3B modeller ve baskılar ile mesleki ve teknik eğitimde öğrenim gören öğrenciler için anlaşılması güç olan konuların anlatımı da kolaylaşmaktadır. Üretime yönelik çalışmalarda geleneksel talaşlı imalata göre türlü avantajlar barındıran bu araçlar sayesinde, öğrencilerin alanlarına yönelik iş kollarına hazırlanması da kolaylaşmaktadır. Sektörün ihtiyaç duyduğu kalifiye ara elemanları yetiştirme misyonuna sahip meslek yüksekokulları, tasarım ve modelleme konularında öğrencilerine yeterli düzeyde uygulama yaptırarak üretime katkı sağlayabilecek nitelikte gençler yetiştirebileceklerdir. Bu çalışmada, belirtilen misyonu özümsemiş ve köklü bir geçmişe sahip okullardan bir tanesi olan İSTE (İskenderun Teknik Üniversitesi) İskenderun MYO (Meslek Yüksekokulu) bünyesindeki programlarda, 3B yazıcıların kullanım alanları ve potansiyelleri incelenmiştir. Çalışmanın son bölümünde araştırma kapsamında ulaşılan bulgulara yönelik çıkarımlara yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3B Yazıcı. 3B Yazıcı Teknolojisi. Eklemeli İmalat. Mesleki ve Teknik Eğitim.

INVESTIGATION OF THE APPLICATIONS AND POTENTIAL OF 3D PRINTERS IN VOCATIONAL AND TECHNICAL EDUCATION: İSKENDERUN VOCATIONAL SCHOOL OF HIGHER EDUCATION CASE

ABSTRACT

3D printers are being added to our lives more and more every day. The most important effect here is undoubtedly the cheaper prices and the discovery of new areas of use. The use of 3D printers in education, especially in vocational and technical education, is increasing day by day. 3D printers are undoubtedly one of the most important tools for those who design in this field to transform ideas from a virtual environment into a tangible result. Thanks to these tools, students acquire various skills in the post-design prototyping phase. With 3D models and prints, it is also easier to explain subjects that are difficult to understand for students studying vocational and technical education. Thanks to these tools, which have various advantages over traditional machining in production studies, it is also easier for

students to prepare for their fields of business. Vocational schools of higher education, which have the mission of training qualified technical staff required by the sector, will be able to train young people who can contribute to production by having their students make adequate practices in design and modeling. In this study, the usage areas and potentials of 3D printers in the departments of Iskenderun Technical University Iskenderun Vocational School of Higher Education, which is one of the schools that have assimilated the stated mission and has a long history, were examined. In the last part of the study, inferences about the findings reached within the scope of the research are given.

Keywords: 3D Printer. 3D Printer Technology. Additive Manufacturing. Vocational and Technical Education.

1. GİRİŞ

Baş döndürücü bir hızla artan teknolojik gelişmeler, 3B yazıcı teknolojilerini de olumlu etkilemektedir. 3B yazıcılar, başlangıçta yüksek fiyatlı olmalarından dolayı geniş kullanıcı kitlelerine yayılamazken, günümüzde rekabetin artması, yerli üretim ve hammaddenin ucuzlaması ile birlikte nispeten kolay temin edilebilir ve daha fazla tasarımcı tarafından kullanılabilir olmuşlardır [1]. Günümüzde artık hemen herkesin kolaylıkla temin edebildiği veya üretebildiği 3B yazıcılar ile dijital ortamda tasarlanan bir ürünün kısa bir sürede üretilmesi mümkün olabilmektedir [2].

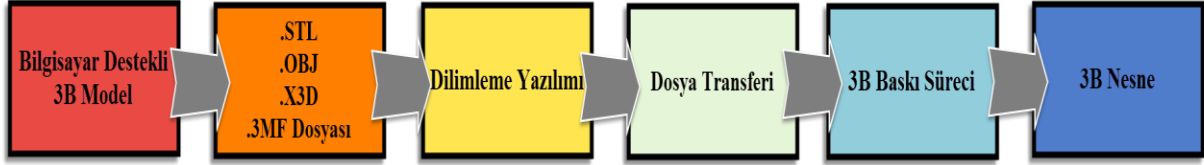
Endüstri 4.0 veya Dijital Dönüşüm olarak adlandırılan kavram, bünyesinde Yapay Zekâ, Robotik ve Otonom Sistemler, Nesnelerin İnterneti, Siber Güvenlik, Bulut Bilişim, Büyük Veri, Sanal Gerçeklik, Simülasyon, İnsansız Hava Araçları, Akıllı Kentler ve 3B Baskı (3BB) Teknolojileri gibi teknolojileri barındırmaktadır [3]. İçinden geçmekte olduğumuz bu süreçte, her ülke dijitalleşme süreçlerinde kendi payını artırma çabası içerisinde. Gelişmiş ülkeler ile rekabetin temel unsurlarından bir tanesi de hiç şüphesiz dijitalleşme sürecine olan adaptasyondur. Bu adaptasyonun sağlanması, ülke olarak kurumsal bir kimlik ile mesleki ve teknik eğitim veren kurumlar ile gerçekleştirilebilecektir. Zira mesleki ve teknik eğitimin sacayaklarından bir tanesi olan meslek yüksekokulları, ülkemizin endüstriye yönelik ihtiyaç duyulan tekniker ya da diğer bir deyişle ara eleman gücünü yetiştirmeyi hedeflemiş üniversite birimleridir. Bu sebeple meslek yüksekokulları, güncel eğitim teknolojileri ile donatılmış atölye ve laboratuvarlara sahip olmalıdırlar. Bu atölyelerden bir tanesi de 3BB teknolojilerinin yer aldığı “3B Tasarım ve Prototipleme Atölyesi” olmalıdır. DOĞAKA (Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı) mali desteği ile İSTE İskenderun MYO bünyesinde “3B Tasarım ve Prototipleme Atölyesi” kurulmuştur. 2 adet 3B yazıcı, 1 adet 3B tarayıcı ve çeşitli tipteki filamentler atölyeye kazandırılmıştır. 3B modeller ve baskılar ile mesleki ve teknik eğitimde öğrenim gören öğrenciler için anlaşılması güç olan konuların anlatımı da kolaylaşmaktadır. Üretime yönelik çalışmalarda geleneksel talaşlı imalata göre türlü avantajlar barındıran bu araçlar sayesinde, öğrencilerin alanlarına yönelik iş kollarına hazırlanması da kolaylaşmaktadır. Yıldırım vd. [4] tarafından yapılan çalışmada; 2003-2017 yılları arasındaki 3B yazıcılar üzerine yapılan çalışmaların sağlık ve mühendislik alanlarında yoğunluk olduğu ancak eğitim alanında ise beklenen düzeyde çalışmanın gözlemlenmediği belirtilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, İSTE İskenderun MYO bünyesindeki 14 farklı teknik programa yönelik 3BB teknolojilerinin uygulamaları hakkında bilgi vermektir. Çalışmanın giriş bölümünde dijitalleşme sürecinin küresel rekabetteki rolü ile mesleki ve teknik eğitimdeki yansımalarına değinilmiştir. İkinci bölümde, 3BB sürecinde yer alan donanım ve yazılımlar hakkında karşılaştırmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, 3BB teknolojilerinin teknik alanlardaki uygulamalarından ve Sonuçlar bölümde ise mesleki ve teknik alanlardaki 3BB teknolojilerinin sanayi ve eğitim uygulamalarındaki etkileri ile yakın gelecekteki potansiyellerine değinilmiştir.

2. 3B BASKI (EKLEMELİ İMALAT) SÜRECİ

3B prototipleme veya nihai ürün oluşturma süreçlerinde, 3B yazıcı, 3B modelleme ve dilimleme yazılımları, 3BB için kullanılacak filament (ince tel) ve destekleyici unsur olan 3B tarayıcı kullanılmaktadır [5]. Kalıp ihtiyacı olmaksızın, 3B tasarım veya 3B taramadan doğrudan üretime geçişe imkân veren 3BB süreci, genel olarak altı temel adımdan oluşmaktadır [6]. 3B modelleme yazılımları veya 3B tarayıcıdan elde edilen model STL (Standard Triangle Language), OBJ, X3D ve 3MF gibi

dosya formatlarında kayıt edilebilirler. Ancak genellikle STL formatı standart gibidir. Kayıt edilen model dosyası dilimleme yazılımına aktarılarak 3B yazıcı tarafından baskıya hazır hale getirilir. 3B yazıcıya transfer edilen dosya, 3B nesnenin katman katman işlenerek elde edilmesine dek devam eder. Baskı sürecine ait bu adımlar sırasıyla Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. 3BB süreci

2.1. 3B Yazıcı Çeşitleri

Her ne kadar 3B yazıcı teknolojileri çeşitlilik göstermekteyse de tüm 3BB teknolojilerinde katman adı verilen ve ayrı dilimler halinde hammadde işleyen yapılar mevcuttur ve en yaygın kullanılan altı tür bulunmaktadır. Bunlar [7]; Birleştirmeli Yığılma Modeli – FDM (Fused Deposition Modelling), Poly Jet Modeli, Seçici Lazer Sinterleme - SLS (Selective Laser Sintering), Tabakalı Yapıştırılmalı Parça İmalatı -LOM (Laminated Object Manufacturing), Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği - SLA (Stereo Lithography Apparatus) ve Bağlayıcı Püskürtme Tekniği (Binder Jet).

2.2. 3B Modelleme Yazılımları

3B modelleme yazılımları basılacak olan nesnelerin dijital ortamda tasarlanması veya düzenlenmesi için gerekli yazılımlardır. En sık kullanılan 3B modelleme yazılımları; 3D Slash, 3DS Max, Blender, BRL-CAD, Cinema 4D, Clara.io, Design Spark Mechanical, FreeCAD, Fusion 360, Inventor, LibreCAD, Maya, Modo, MoI 3D, NanoCAD, OpenSCAD, Rhino3D, SelfCAD, SketchUP, SolidWorks, Tinkercad ve Wings3D olarak alfabetik biçimde sıralanabilir. Adı geçen 22 farklı 3B modelleme yazılımı; lisans ücreti, katı modelleme imkânı sunup sunmadığı, hangi düzeydeki tasarımcılar için uygun olduğu ve hangi platformlar üzerinden kullanılabilceğine göre farklılık göstermektedir.

2.3. 3B Dilimleme Yazılımları

3B dilimleme yazılımları, bir 3B modelden basılı bir parçaya geçmenin en kolay yoludur. Yaptıkları iş genel olarak; 3B modeli alırlar, onu katmanlara bölerler ve modeli G koduna dönüştürürler. Dilimleme yazılımları ayrıca G-koduna sıcaklık, katman yüksekliği, baskı hızı vb. 3B yazıcı ayarlarını da ekler. 3B yazıcı, G kodlarını okur ve modeli G kodundaki talimatları göre katmanlı olarak oluşturur. Bilinen en popüler 9 dilimleme yazılımı ve öne çıkan özelliklerin bazıları Çizelge 1’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Dilimleme yazılımları ve öne çıkan bazı özellikleri

#	Yazılım adı	Öne çıkan bazı özellikleri
1	Ultimaker Cura	Açık kaynak, Hollanda menşei, Yeni başlayanlar için ideal
2	Simplify3D	Açık kaynak değil ve ücretli, Model ile ilgili sorunları düzeltebilme
3	Slic3r	Açık kaynak, Artımlı gerçek zamanlı dilimleme özelliği İç dolu desenini model gücünü arttırmak için değiştirmeye izin verir
4	Repetier	Açık kaynak, İleri düzey kullanıcılar için ideal
5	KISSlicer	Kullanıcı ara yüzü basit, Birden fazla ekstrüder ile çalışmak için PRO versiyon gerekli
6	ideaMaker	Ücretsiz, Uzaktan izleme ve kontrol
7	OctoPrint	Web ara yüzü ve açık kaynak, Süreç anlık bildirim
8	3DPrinterOS	Tüm 3D baskı süreçleri bir platformla yönetilebilir. Bulut üzerinden kontrol ve izleme imkânı sunar
9	Meshmixer	Kafes tipi destek yerine ağaç dalları biçiminde destek oluşturabilir Verimli ve iyi optimize edilmiş sonuçlar sunar

2.4. 3B Yazıcı Filamentleri

3B yazıcılarda üretim yapılırken hammadde olarak ABS (Akrilonitril Butadin Stiren), PLA (Polilaktik Asit), Reçine ve Naylon gibi çeşitli birçok malzeme kullanılabilir ancak bu malzemelerin kolayca temine edilebilmesi ve geri dönüşüm kabiliyetlerinin yüksek olması gibi özelliklerinden dolayı çoğunlukla PLA ve ABS filament tercih edilmektedir. Ayrıca PVA, HIPS, PETG gibi filamentler de kullanılmaktadır. Genellikle özel malzemeler elde edebilmek için PLA ile bakır, bronz, pirinç, tahta, bambu, ağaç kabuğu, karbon fiber, esnek, ışığa ve sıcaklığa duyarlı veya anti bakteriyel maddeler %30-40 oranında karıştırılarak farklı tipte filamentler elde edilebilmektedir.

3. 3B YAZICILARIN UYGULAMALARI

3B yazıcıların kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada İSTE İskenderun MYO bünyesinde yer alan 14 farklı program için kullanım alanları ve potansiyelleri incelenmiştir. İncelenen programlar alfabetik sıra ile incelenmiştir.

3.1. Basın ve Yayıncılık Programı Alanında Kullanımı

Grafik tasarım çalışmaları bilindiği üzere bilgisayar ortamında oluşturulmaktadır. Grafik tasarımı alanında en sık kullanılan üçüncü parti bilgisayar yazılımları; Adobe Photoshop, Adobe Illustrator, CorelDraw, Inkscape, GIMP, Krita gibi piksel ve vektör tabanlı yazılımların yanı sıra, Çizelge 1 de yer alan 3B modelleme yazılımları da hedeflenen tasarıma yönelik kullanılmaktadır. Bu alanda yetiştirilen öğrencilerin inovatif yaklaşımlara açık ve üretken bireyler olabilmeleri için kendi alanlarında kullanılan tasarım programlarına hâkim olmaları ve engelli bireyler de dâhil olmak üzere her türden özel veya tüzel kişiliklere özgün afiş, logo, ambalaj vb. tasarımları veya tipografi düzenlemeleri yapabilmeleri beklenmektedir. Yakın bir gelecekte grafik tasarım gibi derslerin iki boyuttan üç boyutlu tasarımlara geçmesi gerekecektir.

Basın ve Yayıncılık alanında afişler hiç şüphesiz kitle iletişimi açısından oldukça önemli bir yere sahiptirler. Bilgisayar ortamında oluşturulacak olan 3B afiş tasarımı, tipografi, figür, kinetik objeler gibi el yardımıyla yapılması mümkün olmayan tasarımlardır. Görme engelli bireylere yönelik kabartmalı bir biçimde oluşturulacak olan bir modelin yapılacak afiş tasarımlarında kullanılması mümkündür. Bu sayede oluşturulacak olan model, 3B yazıcı ile basılabilecektir. İşte tam da bu anlamda, görme engelli bireylere yönelik 3B yazıcı teknolojilerinden faydalanarak oluşturulmuş bir afiş çalışması [8] bulunmaktadır.

3B yazıcılar, grafik animasyon ve masaüstü yayıncılık derslerinde kullanılmaları durumunda öğrencilerin motivasyonlarını olumlu etkileyebilecektir. Ambalaj tasarımı yapmak ve 3B logo tasarlamak isteyen öğrenciler, bilgisayarda tasarladıkları ambalajın ya da logonun 3B yazıcıdan çıktısını alabilir. Bilgisayar ortamındaki tasarımlarını somut olarak eline alan öğrenci hem motive edilebilir, hem de eğer varsa yaptığı hataları kolayca gözleyebilir. Animasyon dersinde, karakterlerin çıktısını almak için 3B yazıcı kullanılabilirler. Tipografi dersinde, özgün tipografi düzenlemeler yapılabilir ve yaptıkları düzenlemelerin 3B çıktısını alabilirler. Ambalaj tasarımlarında görme engellilere yönelik dokunarak algılama konusunda yeni fikirlerin geliştirilmesi için birer araç olarak düşünülebilirler. Kurumsal kimlik konusunda etkili olacak olan firma/kurum logosunu 3B olarak tasarlamayı tercih edebileceklerdir [9]. Kurum veya kuruluşların anı ziyareti olarak ziyaretçilerine sunabilecekleri minyatür biblolar 3BB teknolojileri ile mümkün olabilmektedir [10].

3.2. Bilgisayar Programcılığı Alanında Kullanımı

Lozano ve Dunwoody, 3B yazıcıda basılmış Pi-Top olarak isimlendiren ilk dizüstü bilgisayarı üretmeyi başarmışlardır [11]. Bilgisayar programcılığı öğrencileri, 3B yazıcı teknolojilerini doğrudan kullanmasalar bile açık kaynaklı 3B modelleme ve dilimleme yazılımlarını (Bknz. Kısım 2.2 ve Kısım 2.3) geliştirmeleri ve yerli yazılımları ortaya koymaları mümkün olabilecektir. Ayrıca, 3BB teknolojileri ile elektronik komponentlerin üretimi sağlandıkça bilgisayar ana kartlarının tasarlanması ve baskısı mümkün olabilecektir.

3.3. Çevre Koruma ve Kontrol Programı Alanında Kullanımı

Çevre koruma denildiğinde ilk akla gelen unsurlardan bir tanesi hiç şüphesi geri dönüşüm ile ilgili projelerdir. Özellikle günlük yaşamda kullandığımız plastik atıkların geri dönüştürülmesi önem arz etmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde Çelik ve ark. [12] 3B yazıcılarda kullanılmak üzere filament üretme makinası tasarlayıp üretime geçtiklerini ve elde ettikleri PLA filamentleri çeşitli testlerden geçirdiklerini belirtmişlerdir. Çömez [13] tez çalışmasında, filament yapım makinesi tasarlamıştır. 3BB ile geri dönüşümlü plastik torbalardan kentsel mobilyalar da üretilebilmektedir [14].

3.4. Elektrik Programı Alanında Kullanımı

3B yazıcı kullanımındaki artış, elektronik sensörler gibi işlevsel unsurları basabilen baskı teknolojilerine ve malzemelere olan talepte artışa neden olmuştur. Karbon nanotüpler gibi katkı maddeleri içeren karmaşık veya pahalı malzemeleri kullanmaksızın, 3BB ile nesnelere içine gömülü baskılı sensörler ve elektronik bileşenleri eklemenin mümkün olabileceği belirtilmektedir [15]. Leigh vd. [15], Karbomorf olarak adlandırılan basit bir iletken termoplastik kompozitin formülasyonunu sunmuşlar ve mekanik esnemeyi ve kapasitans değişikliklerini algılayabilen elektronik sensörleri yazdırmak için düşük maliyetli bir 3B yazıcıda nasıl kullanılabileceğini göstermişler ve böylece kullanıcı arayüzü cihazları üretmek için nasıl kullanılabileceğini rapor etmişlerdir.

3B yazıcıların yazdırma çözünürlüklerinin artması, ayrıca farklı mekanik ve elektrik özelliklerine sahip filamentlerin imalatı ile birlikte sıvı seviyesi, ivme, pozisyon, yer değiştirme ve nem gibi özellikleri barındıran kapasitif algılama sensörlerinin üretiminde kullanılmasına olanak sağlamıştır [16]. Elektrik motorlarının ve elektronik bileşenlerin 3BB ile elde edilmesi konusundaki çalışmalar son hızıyla devam etmektedir. Böylece yakın bir gelecekte kendini tamamen üretebilecek 3B yazıcılar görebileceğiz.

Mikrodalga pasif bileşenlerinin 3BB yöntemleri ile üretilmesi son yıllarda artmıştır [17]. Bu yöntemler ile karmaşık geometriye sahip mikrodalga pasif bileşenleri kısa zamanda, daha hafif ve düşük maliyette üretilebilmektedir. Genç vd. [17] yaptıkları çalışmada, dikdörtgen dalga kılavuzuna sahip bir takım güç bölücülerini tasarladıklarını, 3BB ile üretilmiş ve tüm yüzeylerine elektrolizli ve elektrolizsiz olmak üzere toplamda 20µm'lik bir bakır kaplama yaptıklarını, yöntem olarak FDM ve malzeme olarak da ABS kullandıklarını rapor etmişlerdir.

Mahouti [18] tarafından yapılan çalışmada, geleneksel bakır eritme, kazıma veya lazer kesim üretim teknikleri yerine, 3B yazıcı teknolojisinde en yaygın kullanılan tekniklerden biri olan FDM teknolojisi kullanılarak maliyeti düşük, hassasiyeti yüksek ve çevre dostu bir üretim tekniği ile bir mikro şerit yama anten oluşturulmuştur. Taydaş vd. [19] çalışmalarında, belli bir frekans aralığında ve mekanik olarak ayarlanabilen piramidal anten tasarlamışlardır. Ayrıca tasarlanan anten, yeni bir eklemeli üretim tekniği kullanılarak çok hızlı bir şekilde prototiplendiği belirtilmiştir.

3.5. Geleneksel El Sanatları Programı Alanında Kullanımı

Grafik sanatların bir alt alanı olan illüstrasyon, en geniş anlamıyla bir düşünceyi, fikri, metni ya da olayı tasvir eden resimlemedir. B3Doodler kalem, illüstratörlerin doğrudan 3B çizimler yapabilmesine olanak tanıyan. Glowforge ise bir lazer kesim ve oyma makinesi olup tahta, metal, kâğıt hatta yenilebilen her türlü malzeme üzerinde kesim yapılabilen, cam, alüminyum, titanyum gibi materyaller üzerine oyma yapılabilen birer araçtır. Bir tasarımcı, illüstrasyonuna kara kalem eskiz ile başlayabilir, bunu tarayıp bilgisayar ortamına atabilir, tasarım yazılımlarını kullanarak devam edebilir, daha sonra ortaya çıkan sonucu 3B yazıcı ile fiziksel bir nesneye dönüştürebilir [20].

Özgüven [21] tarafından yapılan çalışmada, 3B seramik yazıcı ile farklı geometrilerde tasarlanan ve ardından üretilen seramik vazoların süreçleri incelenmiştir. Prof. Balistreri'nin "3D Tea Bowl" projesinde klasik çay kaplarını tarayarak dijital ortama aktardığı ve 3B yazıcı teknolojileri ile ürettiği belirtilmektedir [22].

Güzel sanatların alt alanlarından bir tanesi de heykel sanatıdır. Poyraz ve Dolunay [23] çalışmalarında, bilgisayar ortamında yazılımlar ile tasarlanan heykelleri toz ve bağlayıcılar yardımıyla üreten 3B yazıcıların heykel ön modellemede kullanımını incelenmişlerdir.

3.6. Giyim Üretim Teknolojisi Programı Alanında Kullanımı

Giyim ve moda sektöründe 3BB teknolojilerinin kullanılmaya başlanması sektörde köklü değişimlere ve yeni yönelimlere yol açmıştır [24]. Moda ve tekstil alanlarındaki tasarımlarda da 3BB teknolojileri kullanılabilir. 3B yazıcılarda basılan tekstil ürünleri artık yalnızca sergilenen sanatsal nesnelere olmaktan çıkıp fonksiyonel, giyilebilir ve estetik moda tasarımlarına dönüşmüşlerdir [25]. 3B yazıcıların kullanımı iki şekilde olmaktadır [26]; ilki kıyafetin veya aksesuarın bütün olarak bu yöntemle üretilmesi, ikinci olarak da tekstil yüzeyinde farklı şekillerdeki bağlantılarıyla bilinen örme ve dokuma kumaşlara alternatif yüzeyler elde edilmesidir.

Dünyaca ünlü firmalardan Nike firması, özel tasarımları sayesinde sporcuların hareket esnasındaki ivmelerini ciddi şekilde arttırdığını iddia ettiği “Vapor Laser Talon” adlı futbol ayakkabılarında [27], New Balance firması “Zante Generate” adlı ayakkabılarında [28], Feetz, United Nude ve Adidas gibi firmalar da [29] hâlihazırda 3BB teknolojilerini kullanarak ayakkabılar ve ayakkabı tabanları üretmektedirler. Avcı vd. tarafından [29] NASA’nın 2017 yılında 3BB teknolojileri kullanılarak bir tür metalik uzay kumaşı elde edildiği ve bu tasarımın, bir tarafının ısıyı ve ışığı yansıtılabiliyorken, diğer tarafının ısıyı ve ışığı emen bir yapıya sahip olduğunu belirtilmiştir. Alyson vd. [30] çalışmalarında stereolitografi (SL), seçici lazer sinterleme (SLS), kaynaştırılmış biriktirme modellemesi (FDM), PolyJet ve bağlayıcı püskürtme dâhil olmak üzere moda uygulamalarında büyük potansiyel sergileyen beş tür 3BB yöntemini tartışmışlardır.

3.7. Harita ve Kadastro Programı Alanında Kullanımı

Haritacılık mesleğinde 3B yazıcıların kullanım alanlarından bazıları, kabartma harita üretimi ve 3B kent modelleridir. 3B bir kentin modeli; o kentin dokusunu oluşturan bitki örtüsü, yeryüzü şekilleri ve tesisler vb. coğrafi detayların, bilgisayar ortamındaki 3B gösterimidir. 3B kent modelleri, görselliğin ön planda olması nedeniyle, belediyecilik ve şehir planlama hizmetlerindeki yöneticilerin etkin kararlar vermesine yardımcı olmak için karar destek sistemleri olarak kullanılmaktadır [3] .

3.8. Hibrid ve Elektrikli Taşıtlar Teknolojisi Alanında Kullanımı

Hidrojen yakıtlı araçlar üzerine yapılan çalışmalarda araçların elektronik, mekanik ve kompozit (kabuk, şasi) sistemlerinin üretim ve geliştirme süreçlerini gerçekleştirirken 3B yazıcılardan yararlanılabilmektedir. Özellikle araçların hava kanalı ve direksiyon gibi sistemlerinin modellenmesinde ve üretiminde, doğrudan üretimin yanı sıra birçok kompozit kalıp üretimi için de 3B yazıcılar kullanılmaktadır [31].

Jim Kor ve ekibi Urbee adlı bir hibrid otomobili ürettiklerini ve bu hibrid otomobilin motor ve şasi bileşenleri dışındaki gövdeyi oluşturan tüm parçaları 3B yazıcılar ile oldukça sağlam ve hafif bir gövde elde edebilmeleri için hammadde olarak ABS plastik ve baskı yöntemi olarak FDM kullandıkları belirtilmektedir [31].

3.9. İnşaat Teknolojisi Programı Alanında Kullanımı

Bireylerin barınma ihtiyaçlarından doğan inşaat yapılarının daha az insan gücü, daha kısa süre, daha düşük maliyet ile yapılması ve çevreye daha duyarlı ve hatta enerji verimli olması isteği, bilim insanlarını farklı üretim tekniklerini araştırmaya yönlendirmiştir [32]. 3B yazıcılar ile beton baskı yapılması bu konuda bir çözüm yaklaşımı olabilmektedir. 3B yazıcılar, yapıları oluştururken özel çimento, agrega ve katkıları barındıran özel betonlar kullanmaktadırlar [33].

Uygunoğlu ve Özgüven [34] harçların ekstrüde edilebilirlikleri üzerine araştırma yapmışlardır. Araştırmacılar, 3B yazıcılar için hem uygun işlenebilirliğe sahip hem de kohezyonu yüksek olup yazdırıldıktan sonra üste gelen katmanlar altında deforme olmaması için mümkün olduğunca düşük su-çimento oranında harçların üretilmesi gerektiğini önermişlerdir. Çerçevik vd. [35] yapı üretiminde kullanılan betonda, seramik artıkları ile mermer tozunun kullanılmasını araştırmışlar ve ekonomik olarak değeri bulunmayan bu malzemelerin beton üretim işleminde kullanılmasının beton maliyetini ve dolayısıyla yapı maliyetini düşüreceğini belirtmişlerdir.

Bina basımında kontur hazırlama robotları kullanılmaktadır ve bu robotların diğer 3B yazıcılardan farklı olarak beton dökmek ve bilgisayar ortamındaki modeli 3B katı bir nesneye dönüştürmekten daha farklı işlevleri de yerine getirmektedirler. Beton basabilen robotik yazıcıların, aynı zamanda yapı inşa edilirken ihtiyaç duyulan demiri sabitlemesi, elektrik ve sıhhi boru tesisatı gibi diğer süreçleri de insan gücüne ihtiyaç duyulmadan inşaat süreçlerinde yapabildiği belirtilmektedir [36]. Evsizler için oldukça kısa bir süre içerisinde bir yaşam köyü inşa edildiği belirtilmektedir [37].

William Leonard tarafından hazırlanan raporda [38], Hollanda'nın Amsterdam kentinde MX3D tarafından 18 aylık tasarım ve mühendislik süreci sonunda, kentteki en eski ve en ünlü kanallardan biri olan Oudezijds Achterburgwal için 3BB teknolojisi kullanarak 4m genişlik ve 12m uzunlukta paslanmaz çelik bir köprü inşa ettiği belirtilmiştir. WinSun Dekorasyon ve Mühendislik isimli bir Şirket, 6m yüksekliğinde 1100m²'lik bir binayı 3B yazıcı ile ürettiğini ve içerisinde sertleştirme malzemesi, beton tozu, fiberglas ve kum yer alan bir harç kullanarak binanın depreme karşıda oldukça dayanıklı olduğunu iddia etmektedir [31].

Afet ve savaş gibi durumlar karşısında evsiz kalan insanların barınma ihtiyacına yönelik binalar üretilebilmektedir. Yüksek iş gücü gerektiren ve uzun sürede tamamlanması gibi durumlarla karşı karşıya kalınan geleneksel imalat yöntemlerinde üretim maliyetleri artmaktadır. Bu teknoloji ile kısa sürede maliyeti düşük alanlar oluşturularak ihtiyaç sahiplerinin barınma sorunu çözülecektir [39]. Çin'in Suzhou Endüstriyel Parkında ilk çok katlı yapı inşaatının tamamlanmış olması [40] özellikle farklı bir gezegende kurulması planlanan yaşam alanlarına ait yapıların benzer şekilde oluşturulabilmesini olası kılmaktadır.

3.10. İnsansız Hava Aracı Teknolojisi ve Operatörlüğü Programı Alanında Kullanımı

3BB teknolojisi, gelecekteki uçak tasarımlarında bu tür baskı teknolojisinin büyük potansiyelini göstermektedir. New South Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği'nde yürütülen gelişmiş bir proje tasarımının parçası olarak, yazdırılabilir sabit kanatlı bir İHA konsepti kullanılmıştır. Rüzgâr tüneli testi ve doğrulaması için 3BB teknolojisi kullanılarak müteakip küçük ölçekli bir test modeli üretilmiştir [41].

Plastik enjeksiyon yolu ile üretimi yapılan multikopter gövdelerinin 3B yazıcı teknolojilerinin yaygınlaşması ile üretimde kullanılması söz konusu olmuştur. ABS ve PLA gibi plastik filamentler kullanılarak yapılan multikopter frameleri nispeten hafif oldukları için kullanım yönünden sorun yaşatmamaktadırlar. Ancak mukavemetlerinin düşük olması sebebiyle kazalarda kolaylıkla kırılma uğrayabilmektedirler. Her geçen gün piyasaya 3BB için kullanılacak nitelikte yeni bazı malzemelerin sürülmesi sebebiyle nispeten daha mukavemetli ve hafif sonuçlar alabilmek için son dönemde karbon fiber kullanılmaya başlanmıştır [42],[43].

TEİ tarafından İHA ihtiyacını karşılamak üzere üretilen TJ90 turbojet motoruna ait yanma odası, geleneksel yöntemler kullanılarak dokuz farklı parçadan elde edilmiş ancak 3BB yöntemindeki gelişmelerle birlikte tek parça halinde imal edilmesi sağlanmıştır [44]. TAI tarafından üretilen "Şimşek" adlı İHA'da TJ90 turbojet motoru kullanılmıştır [45]. Çarşka [46] çalışmasında, küçük ya da taşınabilir tipteki İHA'ların sürekli olarak görevlerini yerine getirebilmeleri için insan müdahalesinden uzak olunan noktalarda bataryaların otomatik olarak değiştirilmesini sağlayan bir sistem geliştirdiğini belirtmiştir.

3.11. Makine Programı Alanında Kullanımı

Yavuz ve arkadaşları [47] tarafından yapılan çalışmada otomotiv ve makine bölümlerinde önemli bir yere sahip olan planet dişli sistemlerinin prototip üretimi gerçekleştirilmiş ve ders materyali olarak kullanılması sağlanmıştır. Böylece planet dişli sistemindeki hız kavramının çalışma prensibini daha net anlatacak bir materyal geliştirilmiştir. Rolls-Royce havacılık firması, 2015 yılında tamamladığı ve en güçlü motoru olan Airbus A350-1000 modeli için 1.5m çap ve 0.5m kalınlığındaki ön rulman yatağını 3BB teknolojisi kullanarak ürettiğini duyurmuştur [48].

Bozdemir [49] tarafından yapılan çalışmada, kişiye özgü bir silah kabzasının 3B yazıcı ile basılması için uygulanması gereken tasarım ve imalat süreçleri, 3BB parametreleri ve 3B yazıcıların uygunluğu tartışılmıştır. Top vd. [50] tarafından yapılan çalışma kapsamında, topoloji optimizasyonu gerçekleştirilen fren braketinin ideal bir forma ulaşması ve hafiflemesi sağlanmış, SLS yöntemi ile üretimi planlanmıştır.

Kartal vd. [51], 3B yazıcıda üretilmiş dişli çarkların silikon kalıplama yapılarak kalıbı alınıp oluşturulmuş ve bir kalıba epoksi dökülmek suretiyle parçanın çoğaltılması işleminin yapıldığını belirtmişlerdir. Köbeloğlu ve Çetinkaya [52] 3B yazıcılar ile uzun geometriye sahip parçaların üretilmesine imkân sağlayacak bir yöntem üzerinde durmuşlardır. Amerika'nın Alfred Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde öğrenim gören bir grup öğrenci, 3BB kullanarak roket elde etmişlerdir [53].

3.12. Mekatronik Programı Alanında Kullanımı

Mekatronik denilince akla ilk gelen şeylerden bir tanesi robotiktir. Robotlar birçok kategoriye ayrılmakla birlikte endüstriyel robotlar çoğu kez endüstriyel üretim süreçlerinde rol alırken yumuşak robotlar (soft robotics) sağlık alanlarında önemli roller üstlenmektedirler. Çelebi vd. [54] endüstriyel otomasyon sistemlerinden biri olan ve yaygın kullanım alanına sahip olan 6 eksenli bir robot kolu Catia V5 kullanarak tasarımı yapıp 3B yazıcı aracılığı ile PLA kullanılarak üretimi yapmışlar ve Arduino yazılım geliştirme kiti kullanılarak programlama yapmışlardır.

Yumuşak robotik (soft robotics) yaklaşımı, robotiklerin geleneksel olarak doğrusal olan özellikleri yerine insan, hayvan ve bitki yaşamını taklit eden bir biçim olarak tanımlanmaktadır [55]. 3BB teknolojisi, karmaşık bir dış anatomi şekline ve iç gözenekli yapıya sahip yumuşak robotlar açısından benzersiz avantajlar sunmakla birlikte karmaşık gözenekli 3B tasarımın bu teknikle birleştirilmesi, çeşitli malzemelerden kemik ve kaslara sahip bir dizi yumuşak robot oluşturabilmesi sağlamaktadır [56].

Özbaran ve Dilibal [57], geleneksel imalat yöntemleri kullanılarak imalat süreçleri maliyetli ve çoğu zaman birden fazla imalat sürecine ihtiyaç duyulduğundan eklemeli imalat yöntemi ile ABS filament malzemesi kullanarak dikey ve dikey kremayer-pinyon dişlileri kullanılarak iki ayrı paralel çeneye sahip robotik bir tutucu tasarımı yapmışlardır. Taşdemirci ve Özkan [58] çalışmalarında, anatomik olarak insan iskelet sistemine oldukça yakın, insan el ve parmak sistemini taklit edebilecek nitelikte ucuz, üretimi kolay, sürdürülebilir, kolay uygulanabilir parmak protezi tasarımı ve üretimi gerçekleştirmişlerdir.

3.13. Metalürji Programı Alanında Kullanımı

Son yıllarda yapılan geliştirmeler ile birlikte 3B yazıcılar yardımıyla sadece plastik parçaların üretimi değil metal parçaların da üretimi sağlanmaya başlanmıştır. Renishaw şirketi, 17-4PH ve 316L gibi paslanmaz çelik, Al-Si-12 ve Al-Si-a0 gibi alüminyum alaşımları, Ti6a14V ve Ti6A17Nb titanyum alaşımları, titanyum CP, 718 ve 625 Incolen, H12 takım çeliği, cobalt-chrome (ASTM75) gibi maddeleri kullanarak 3B yazıcı ile metal parçaların üretimini gerçekleştirmiştir [59].

Kendi türünden olan metallere daha fazla enerji absorbe edebilme avantajına sahip olan metalik köpüklerin üretimi gelişmiş ülkeler tarafından, ergimiş metal içerisine gaz enjekte ederek, ergimiş metal içerisine köpürtücü ajan ilave edilerek ve toz metalürjisi tekniği gibi zorlu yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Ancak Çetin ve Yaşar [60] tarafından 3BB teknolojisi kullanılarak üretimleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel yöntemler ile elde edilmeye çalışılacak olan karmaşık geometrilere sahip bir pompa çarkı, uçak braket ve eksantrik mili dişlisi 316L paslanmaz çeliğin mükemmel korozyon direnciyle Markforged Metal 3B yazıcı kullanılarak %98'lik bir maliyet avantajı ile üretilebilmektedir [61].

3.14. Otomotiv Teknolojisi Programı Alanında Kullanımı

Otomotiv dünyasındaki en verimli katmanlı imalat uygulamalarından biri hızlı prototiplemedir. Ürün geliştirme sürecinde prototip üretimi için çok çeşitli parçalara ve farklı üretim metotlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu üretim metotlarından birisi de 3BB teknolojisidir. İsmail Durgun tarafından TOFAŞ bünyesinde yapılan çalışmada [62], otomatik vitesli araçların ayak basma plastiği FDM yöntemi ile

basılmış ve basılan parçanın kısa sürede elde edilmesi nedeniyle mali açıdan dezavantajlı bir çözüm olduğu bilinmesine rağmen doğru imalat yöntemi olduğu belirtilmiştir. Ücretsiz 3B modellerin paylaşıldığı bazı sitelerde birçok otomobil markasının motor bloklarına ait modeller yer almaktadır. Örneğin 6 silindir Ford motor bloğu [63] ve diğer 3B modeller bunlara örnektir. Bu hazır modeller ile motor bloklarının dijital ortamda ve baskılı haliyle atölye ortamında incelenmesi ve hatta değişiklik yapılarak geliştirilmesi de mümkün olabilecektir.

3BB teknolojileri ile motor pistonları elde edilebilmesi için alınmış olan patentler bile bulunmaktadır. Otomotiv sektöründe kullanılan motor pistonları geleneksel olarak döküm yöntemi ile üretilmekte olup Özel vd. [64] tarafından Rhino Ceros programı ile tasarlanmış ve FDM yöntemi kullanılarak piston modeli oluşturulmuştur. Yukarıda sıralanan örneklerin yanı sıra otomobillerin konsol [65], arka aydınlatma grubu [66], fren kaliperi ve piston [67] ile çalışan model motor [68] üretimlerinin bile 3BB teknolojileri ile elde edilmesi mümkün olmaktadır.

4. SONUÇLAR

Endüstri 4.0 ile gelen üretim sistematığında, 3BB teknolojilerinin kullanılması tüm dünyada yaygınlaşmıştır. 3BB teknolojilerindeki olağanüstü büyüme, sanayi devriminin bir sonraki dalgasına öncülük etme potansiyeline sahiptir. Birçok endüstriyel alanda karlılık, doğrudan üretim ve satış hacmine bağlıdır. Bu hacimler göz önüne alındığında, 3BB teknolojileri kullanılarak düşük üretim hızı ile doğrudan parça üretimi önemli bir engeldir.

3BB teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı havacılık, otomotiv ve makine gibi alanlarda öncelikli ihtiyaç duyulan yüksek imalat hızı, düşük yüzey pürüzlülüğü, yüksek güvenilirlik özelliklerine sahip parçaların üretimlerini yapabilecek nitelikteki 3BB teknolojilerinin geliştirilmesi ve konvansiyonel üretim yöntemlerinin yerini alması beklenmektedir. Bu sayede işletmelerin;

- Yüksek stok maliyetlerini azaltması,
- Yerinde üretim yapılarak ürün nakliyesinden kaynaklı karbon salınımının düşürülmesi ve daha yaşanabilir bir dünyaya katkı sağlanması,
- Geri dönüştürülebilir malzemeler ile üretilmiş olan bir ürünün 3BB teknolojilerinin yardımıyla yeniden elde edilmesi veya güncel durumlara uyarlanması,
- Yüksek teknoloji ürünlerinin yerli ve millileştirilmesinde 3BB teknolojilerinin önemli rol oynayacağı ön görülmektedir.

Ülkemizin küresel rekabette ihracat kapasitesini arttırması ve yüksek teknoloji ürünlerini hızlı ve ucuz üretebilmesi için 3BB teknolojileri ile üretime yönelik Ar-Ge gruplarının kurulması önem arz etmektedir. Bu Ar-Ge merkezlerinde mesleki ve teknik eğitim görmüş mühendis, tekniker ve teknisyen istihdam etmesi zaruridir. Bu sebeple MYO'larda 3B Tasarım ve Prototipleme atölyeleri kurulmalı ve farklı disiplinlerden öğrenci ve öğretmenler bir araya gelerek geleceğin ürünlerini tasarlayıp hayata geçirmelidirler.

3B Tasarım ve Prototipleme atölyelerinde 3BB teknolojilerinin kullanımı ile birlikte mesleki ve teknik alanda öğrenim gören öğrencilerin;

- İçinden geçtiğimiz dijital dönüşüm süreçlerine adaptasyonlarının hızlanması,
- 3B düşünebilme kabiliyetinin elde edilmesi,
- Analitik düşünme becerilerinin geliştirilmesine yardımcı olması,
- Proje odaklı öğrenime geçmelerinin sağlanması
- Kendi disiplinlerinde kullanılacak olan esas parça, yedek parça, modifiyeli yedek parçaları üretebilmeleri,
- Atölye ve laboratuvar ortamlarında tasarım odaklı düşünebilme yetisi kazanarak olası problemler karşısında çözüm üretme ve mevcuttaki durumu daha iyi hale getirebilmesi,
- El becerilerinin ve tasarım becerilerinin gelişmesi ve bu sayede öz güvenlerinin artması,
- 3B tarayıcılar kullanarak nesnelerin bilgisayar ortamına aktarılması, kendi alanlarındaki materyalleri kullanarak kişiselleştirilmiş tasarımlar yapabileceği becerilerinin artması ön görülmektedir.

PLA tipi filamentin kokusuz olması, kolay ve ucuza temin edilebilir olması nedeniyle baskı kolaylığı sunması gibi nedenlerle 3B Tasarım ve Prototipleme atölyelerinde 3B baskılı imalat için ideal bir sarf malzemesi olarak önerilebilir. 3B Modelleme ve dilimleme yazılımlarının her birinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Öğrencilerin, lisans ücreti talep etmemesi dolayısıyla, açık kaynak olarak hizmete sunulan yazılımları kullanması ve geliştirmesi önerilmektedir.

5. TEŞEKKÜR

İSTE İskenderun MYO, 2019 yılında İmalat Sanayisine Yönelik Mesleki Eğitimin Geliştirilmesi Mali Destek Programı (MESLEK) adındaki proje çağrısına “Makina İmalatına Yönelik Eğitim Teknolojilerinin Geliştirilmesi” proje başlığı ile başvuruda bulunmuş ve proje TR63/19/MESLEK/0007 sözleşme numarası kabul edilmiştir. Bu proje ile İSTE İskenderun MYO bünyesinde “3B Tasarım ve Prototipleme Atölyesi” kurulmuştur. Bu sebeple ilgili atölyenin kurulmasını finanse eden Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı’na bağlı DOĞAKA’ya, proje ortağımız İskenderun Ticaret ve Sanayi Odası ve iştirakçi firmalara teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Koç, R., “3d yazıcıların mesleki eğitimde kullanılmasının öğretime olan etkisinin incelenmesi”, in 8th International Vocational Schools Symposium, Sayı Haziran, Sayfa 52, 2019.
2. Aydın, M., Güler, B., Çetinkaya, K., “Dikey ekstrüzyon (Filament) sistemi tasarım ve prototip imalatı”, Int. J. 3D Print. Technol. Dijital Ind., Cilt. 2, Sayı 1, Sayfa 1–10, 2018.
3. Önder, M., “Endüstri 4.0 devrimi ve haritacılık mesleğine yansımaları”, in TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Sayfa 1–9, 2019.
4. Yıldırım, G., Yıldırım, S., Çelik, E., “Yeni Bir Bakış - 3 boyutlu yazıcılar ve öğretimsel kullanımı: Bir içerik analizi”, Bayburt Eğitim Fakültesi Derg., Cilt. 13, Sayı 25, Sayfa 163–184, 2018.
5. Demir, K., Demir, E. B. Kuzu, Çaka, C., Tuğtekin, U., İslamoğlu, H., Kuzu, A., “Üç boyutlu yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanımı: Türkiye’deki uygulamalar”, Ege Eğitim Derg., Cilt 2, Sayı 17, Sayfa 481–481, 2016.
6. Sürmen, H. K., “Eklemeli İmalat (3b baskı): Teknolojiler ve uygulamalar”, Uludağ Univ. J. Fac. Eng., Cilt. 24, Sayı 2, Sayfa 373–392, 2019.
7. Şahin B., Turan, B. O., “Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi”, Strat. ve Sos. Araştırmalar Derg., Cilt 2, Sayı 2, Sayfa 97–116, 2018.
8. Armutcu, B., “Üç boyutlu yazıcıların görme engelli bireyler için afiş tasarımında kullanımı: ‘İstiklal marşı’ afişi uygulaması”, New Era Int. J. Interdiscip. Soc. Res., Cilt 6, Sayı 7, Sayfa 80–88, 2021.
9. Gökçearslan, A., “Üç boyutlu yazıcının grafik tasarım alanına yansımaları”, Fine Arts, Cilt 12, Sayı 2, Sayfa 135–148, 2017.
10. Sarıtürk, B., Şeker, D. Z., “SFM tekniği ile 3b obje modellenmesinde kullanılan ticari ve açık-kaynak kodlu yazılımların karşılaştırılması”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim. Derg., Cilt 17, Sayı Special Issue, Sayfa 126–131, 2017.
11. Açıkgöz, O., “Üç boyutlu yazıcıda basılan ilk dizüstü bilgisayar | TÜBİTAK Bilim Genç”, TÜBİTAK Bilimgenç, 2015. Available: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/uc-boyutlu-yazicida-basilan-ilk-dizustu-bilgisayar>, 25 April, 2021.
12. Çelik, B. B., Şener, B., Serin, G., Ünver, H. Ö., “Ergiyik filament fabrikasyonu , 3b yazıcılar için kompozit filament ekstrüder makinesi geliştirilmesi”, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, Cilt 17, Sayı 2, Sayfa 65–75, 2019.
13. Çömez, M., “Yalın üretim teknikleriyle imal edilen malzemelerin artıkları ile üretilen granüllerden elde edilen yeni pla filamentinin özelliklerinin incelenmesi”, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, 2019.

14. Akyol, E., “Kent mobilyaları tasarım ve kullanım süreci”, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2006.
15. S. J. Leigh, R. J. Bradley, C. P. Pursell, D. R. Billson, and D. A. Hutchins, “A simple, low-cost conductive composite material for 3D printing of electronic sensors”, *PLoS One*, Vol. 7, Issue 11, Pages 1–6, 2012.
16. Çelen, S., “Dijital endüstri mimarisinin siyah tuğlaları: 3 boyutlu karbon elektronik cihazlar”, in *3rd International Symposium on Industrial Design & Engineering*, Sayfa 293–295, 2018.
17. Genç, A., Başyigit, İ. B., Göksu, T., Helhel, S., “Farklı güç oranları için dikdörtgen dalga kılavuzu güç bölücülerinin karakteristiklerinin incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg.*, Cilt 33, Sayı March, Sayfa 261–270, 2018.
18. Mahouti, P., “3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile bir mikroşerit yama antenin maliyet etkin üretimi”, *Mühendislik Bilim. ve Tasarım Derg.*, Vol. 7, Sayı 3, Pages 473–479, 2019.
19. Taydaş, F. M., Bozdağ, G., Yiğit H., Anıktar, H., “Additively manufactured mechanically tunable horn antenna design”, in *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2020 - Proceedings*, 2020.
20. Çeken, B., Ersan, M., “Günümüz illüstrasyon sanatı ve geleneksel illüstrasyonda sıra dışı yaklaşımlar”, *J. Acad. Soc. Sci.*, Cilt 97, Sayı Ekim, Sayfa 318–328, 2019.
21. Özgüven, S., “3b baskı ile üretilen seramik vazolar”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, Cilt 7, Sayı 1, Sayfa 112–122, 2019.
22. Özgüven, S., “Using three dimensional printers as a new expression in ceramic art”, *Idil J. Art Lang.*, Vol. 4, Issue 18, Pages 167–183, 2015.
23. Poyraz, B., Dolunay, A., “Heykel sanatında ön modelleme aşaması ve üç boyutlu yazıcı uygulamaları”, *Ulakbilge Sos. Bilim. Derg.*, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 69–80, 2014.
24. Şen, C., Kılıç, A. Ş., Öndoğan, Z., “Endüstri 4.0 ve moda sektöründeki uygulamaları”, *TJFMD*, Cilt 2, Sayı 3, Sayfa 53–65, 2020.
25. Avcı, G., Eren, O., Sezer, H. K., “Tekstil sektörüne eklemeli imalat yaklaşımı: 3b yazıcılar ile deneysel çalışma”, in *Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu*, 2019, Sayı December 2019.
26. Yıldırım, M., “The design and production by 3d printings in the fashion industry”, *ART-E J.*, Vol. 17, Pages 155–172, 2016.
27. Akben, İ., “3 boyutlu yazıcılar ve tedarik zincirine etkileri”, *Int. J. Acad. Value Stud. (Javstudies JAVS)*, Cilt 3, Sayı 10, Sayfa 20–35, 2017.
28. Çevik, D., “Üç boyutlu yazıcı teknolojisinin seri ve kesikli üretim sistemleri üzerine etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, [The Effect of Three Dimensional Printer Technology on Serial and Cutting Production Systems] [Thesis in Turkish], Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2018.
29. Yıldırım, M., “Üç boyutlu yazıcılarla moda ürünlerinde kitlesel kişiselleştirme”, *Akdeniz Sanat Dergisi*, Cilt 9, Sayı 19, Sayfa 29–47, 2016.
30. Vanderploeg, A., Lee, S. E., Mamp, M., “The application of 3d printing technology in the fashion industry”, *Int. J. Fash. Des. Technol. Educ.*, Vol. 10, Issue 2, Pages 170–179, 2017.
31. Bedir, A., Çırıkka, C., İsmayilov, E., “Çift başlı üç boyutlu yazıcı imalatı ile mekanik özellikleri iyileştirilmiş kompozit parça üretimi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, 2018.
32. Çerçevik, A. E., Toklu, Y. C., Kandemir, S. Y., Yaylı, M. Ö., “3d baskı teknolojisi kullanarak yapı üretiminin son dönem yeniliklerinin araştırılması”, *Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind.*, Cilt 2, Sayı 2, Sayfa 116–122, 2018.

33. Toklu, Y. C., Çerçevik, A. E., Şahinöz, M., “Otomatik yapı üretim teknolojisinde kullanılacak malzemelerin belirlenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., Cilt 21, Sayı 1, p. 51, 2016.
34. Uygunoğlu, T., Barlas Özgüven, S., “Extrudability of mortars designed for 3d printers”, El-Cezeri J. Sci. Eng., Cilt 8, Sayı 1, Sayfa 410–420, 2021.
35. Çerçevik, A. E., Toklu, Y. C., Kandemir, S. Y., Yaylı, M. Ö., “Investigation of marble powder and ceramic waste for production of 3d concrete”, SDU Int. J. Technol. Sci., Cilt 10, Sayı 2, Sayfa 57–68, 2018.
36. Allouzi, R., Al-Azhari, W., Allouzi, R., “Conventional construction and 3d printing: A comparison study on material cost in Jordan”, J. Eng., Vol. 2020, Issue Cc, Pages 1–14, 2020.
37. Afolabi, A. O., Ojelabi, R. A., Omuh, I. O., Tunji-Olayeni, P. F., “3d house printing: A sustainable housing solution for Nigeria’s housing needs”, J. Phys. Conf. Ser., Cilt 1299, Issue 1, 2019.
38. İnternet: Leonard, W. J., “Case Study on 3D Printing Implementation Strategies”, <https://digitalcommons.calpoly.edu/cmosp/139>, 2018.
39. Erener, Ş., Boz, S., “Modern üretim tekniklerinde eklemeli imalat sistemlerinin yeri ve kullanım alanları”, TJJFD, Cilt 3, Sayı 1, Sayfa 47–56, 2021.
40. Luo, W., Ma, X., and Yin, J., “Application and research on building 3d printing”, Journal of critical reviews, vol. 7, no. 12, pp. 564–578, doi: 10.31838/jcr.07.12.103, 2020.
41. Ahmed, N. A., Page, J. R., “Manufacture of an unmanned aerial vehicle (UAV) for advanced project design using 3D printing technology”, Appl. Mech. Mater., Vol. 397–400, Pages 970–980, 2013.
42. Uz, U., “Hexacopter yapısında bir insansız hava aracı ile elektronik ilaçlama/sulama sisteminin oluşturulması”, Yüksek Lisans Tezi, [The production of electronic pharmaceutical / irrigation system with an unmanned aerial vehicle in hexacopter] [Thesis in Turkish], İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, 2019.
43. Kara, N., “Havacılıkta katmanlı imalat teknolojisinin kullanımı”, Mühendis ve Makina, Cilt 54, Sayfa 70–75, 2013.
44. Süt, M., Öztürk, E., Kara, F., “Havacılık uygulamalarında katmanlı imalat teknolojisi”, 2019.
45. Tusaş Engine Industries, Inc, “Yakut: Havacılıkta kullanılan nikel alaşım katmanlı imalat teknolojisi geliştirilmesi projesi”, <http://195.142.2.108/detay/yakut-havacilikta-kullanilan-nikel-alasim-katmanli-imalat-teknolojisi-gelistirilmesi-projesi>, 23 April, 2021.
46. Çaşka, S., “İnsansız hava araçları için otomatik batarya değiştirme robotu tasarımı”, in 3rd International Symposium on Industrial Design & Engineering, Sayfa 260–261, 2018.
47. Yavuz, İ., Yuran, A. F., İkinci, F., “Makine mühendisliği eğitiminde 3d yazıcılar ile yardımcı materyal tasarımı ve uygulaması”, in 4th International Congress On 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies And Digital Industry, Issue April, Sayfa 354–359, 2019.
48. Özsoy, K., Duman, B., “Havacılık ve savunma sanayisi için eklemeli imalatla metal parça üretimi”, Uluslararası Teknol. Bilim. Derg., Cilt 11, Sayı 3, Sayfa 201–211, 2019.
49. Bozdemir, M., “Silah Kabzasının 3b yazıcılarla tasarım ve imalatı”, Uluslararası 3b Yazıcı Teknol. ve Dijital Endüstri Derg., Cilt 2, Sayı 1, Sayfa 57–68, 2018.
50. Top, N., Gökçe, H., Şahin, İ., “Eklemeli imalat için topoloji optimizasyonu: El freni mekanizması uygulaması”, Selçuk-Teknik Derg., Cilt 18, Sayı 1, Sayfa 1–13, 2019.
51. Kartal, F., Nazlı, C., Yerlikaya, Z., Kaptan, A., “3b yazıcıda üretilen parçaların çoğaltılması”, Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind., Cilt 5, Sayı 1, Sayfa 34–42, 2021.

52. Köbeloğlu, A., Çetinkaya, K., “3b yazıcılar ile uzun geometrilili parçaların üretilebilirliği”, Uluslararası 3b Yazıcı Teknol. ve Dijital Endüstri Derg., Cilt 1, Sayfa 11–18, 2019.
53. Degges, M. J., Taraschi, P., Syphers, J., Arnold, D., Boyer, E., Kuo, K. K., “Student investigation of rapid prototyping technology for hybrid rocket motor fuel grains”, 49th AIAA/ASME/SAE/ASEE Jt. Propuls. Conf., Vol. 1 PartF, Pages 1–12, 2013.
54. Çelebi, A., Korkmaz, A., Yılmaz, T., Tosun, H., “3 boyutlu yazıcı ile 6 eksenli robot kol tasarım ve imalatı”, Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind., Cilt 3, Sayı 3, Sayfa 269–278, 2019.
55. Yetkin, S., Koca, G. O., “Esnek robotların tasarım, kontrol ve imalat çalışmaları”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Derg., Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 74–86, 2021.
56. Gul, J. Z. et. al., “3d printing for soft robotics–A review”, Sci. Technol. Adv. Mater., Vol. 19, Issue 1, Pages 243–262, 2018.
57. Özbaran, C., Dilibal, S., “Yatay ve dikey kremayer-pinyon dişli mekanizmaları kullanılarak paralel çeneli robotik tutucu tasarımı ve eklemeli imalat yöntemi ile üretimi”, Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind., Cilt 4, Sayı 2, Sayfa 139–151, 2020.
58. Taşdemirci, Ç., Özkan, A., “3b yazıcı kullanarak mekanik parmak protezi tasarımı ve üretimi”, Sayı December, Sayfa 4–5, 2020.
59. Akbaba, A. İ., Akbulut, E., “3 boyutlu yazıcılar ve kullanım alanları”, ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilim. Derg., Cilt 3, Sayı March, Sayfa 19–46, 2021.
60. Çetin, M., Yaşar, M., “3d yazıcıyla üretilen açık gözenekli köpük modellerin gerçek üretim şartlarıyla karşılaştırılması”, in International Congress On 3d Printing Technologies And Digital Industry, Sayfa 297–302, 2019.
61. Türkmen, H., “3 boyutlu yazıcıda üretilen polimer malzemelerin kuru kayma altındaki tribolojik davranışlarının deneysel olarak araştırılması”, [Experimental investigation of tribological behaviors of polymer materials in under dry sliding which is produced in 3d printer] [Thesis in Turkish], Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2020.
62. Aydın, T., Aydın, M., “Otomotiv ürün geliştirme sürecinde doğrudan dijital imalat”, İleri Teknoloji Bilim. Dergisi, Cilt 8, Sayı 2, Sayfa 17–27, 2019.
63. Cirstea, C. I., Copilusi, P. C., Adrian, C., “Analysis of mechanical stress behavior of fixing bolts for a ford engine block”, Appl. Mech. Mater., Vol. 880, Pages 220–225, 2018.
64. Özel, Ş., Zeren, M., Alp, N. Ç., “Application of layered manufacturing technology with 3d printers in automotive industry”, Uluslararası 3b Yazıcı Teknol. ve Dijital Endüstri Dergisi, Cilt 4, Issue 1, Sayfa 18–31, 2020.
65. Ganesh Sarvankar S., Yewale, S. N., “Additive manufacturing in automobile industry”, Int. J. Res. Aeronaut. echanical Eng., Vol, 7, Issue 4, Pages 1–10, 2019.
66. Durgun, İ., Başaran, D., Demirkan, U., “3b yazıcı sistemleri ile otomobil arka aydınlatma grubunun geliştirilmesi”, in 17. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 2016.
67. Martin, M., “Analyse des opportunités de l’impression 3D dans l’industrie automobile”, Université catholique de Louvain, 2017.
68. Balan, L., Yuen, T., Mehrtash, M., “Problem-based learning strategy for CAD software using free-choice and open-ended group projects”, Procedia Manuf., Cilt 32, Sayfa 339–347, 2019.