



Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojilerinin Eğitim Alanında Kullanımı: Türkiye'deki Uygulamalar¹

Elif Buğra KUZU DEMİR², Cansu ÇAKA³, Ufuk TUĞTEKİN⁴, Kadir DEMİR⁵, Hakan İSLAMOĞLU⁶, Abdullah KUZU⁷

Geliş Tarihi: 11.08.2016

Kabul Tarihi: 15.11.2016

Öz

Bu çalışmanın amacı; üç boyutlu (3B) yazdırma teknolojilerini tanıtmak, eğitimle ilişkisini açıklamak ve ülkemizde nasıl kullanıldığını incelemektir. Tıp, mimarlık ve birçok alanda yaygın olarak kullanılan 3B yazdırma teknolojileri eğitim alanında da giderek artan bir ilgiyle karşılanmaktadır. Plastik, oyun hamuru, metal gibi birçok hammaddeyi kullanarak dijital ortamdaki modellerin somut nesnelere dönüştürülmesini sağlayan 3B yazıcılar bulunmaktadır. Bununla birlikte 3B yazdırma teknolojileri arasında 3B tasarım yazılımları, 3B tarayıcılar ve 3B mürekkep (filament) yer almaktadır. Birçok farklı ürünün bir arada yer aldığı çok geniş bir ekosisteme sahip 3B yazdırma teknolojilerinin odak noktasında 3B yazıcılar yer almaktadır. 3B yazıcılar; zaman ve maliyet tasarrufu, yedeklemeyi kolaylaştırma, güvenlik ve gizlilik, geometrik özgürlük ve çevre dostu olanaklara sahiptir. Bununla birlikte kısıtlı hammadde, yüksek maliyet ve sınırlı sağlamlık sınırlılıkları göz önünde bulundurulmalıdır. Çalışmada, 3B yazıcıların özellikle ülkemizde hangi kurumlar tarafından ne amaçla kullanıldığına yer verilmektedir. Ayrıca, çalışmada 3B yazdırma teknolojilerinin eğitim ortamlarında nasıl kullanılabileceğine yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu yazdırma, üç boyutlu yazıcı, üç boyutlu tasarım

1 Bu çalışma, 3. Uluslararası Eğitimde Yeni Eğilimler Konferansı'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

2 Dr. Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, ebkuzu@anadolu.edu.tr

3 Araş.Gör., Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, cansucaka@anadolu.edu.tr

4 Araş.Gör., Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, ufuktugtekin@anadolu.edu.tr

5 Araş.Gör., Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, kadirdemir@anadolu.edu.tr

6 Araş.Gör., Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, hakan.islamoglu@erdogan.edu.tr

7 Prof.Dr., Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, akuzu@anadolu.edu.tr



The Use of Three Dimensional Printing Technologies in Education: Practices in Turkey

Submitted by 11.08.2016

Accepted by 15.11.2016

Abstract

The main objective of this present study is to introduce 3 dimensional (3D) printing technologies, explain its relation with education and investigate how it has been applied in our country. There has been a growing interest in the field of education towards 3 dimensional printing technologies, which are commonly used in so many fields like medicine, architecture. There are 3D printers which allow the models in digital media to be produced as a concrete object though the use of many raw materials such as plastic, modeling clay and metal. Besides, among 3D printing technologies, there are 3D design software, 3D scanners and 3D ink (filaments). 3D printers have appeared to be in the focus of 3D printing technologies, which hold a large ecosystem, hosting so many different products. 3D printers provide the opportunities of saving on time and expenditure, privacy and security, geometric independence and being environmentally friendly. However, the limitation of raw material, high cost and durability should be considered. The study explains in which institutions and for what purposes, especially in our country, the 3D printing technologies are applied. Furthermore, in the study, some recommendations are presented on how to use 3D printing technologies in the field of education.

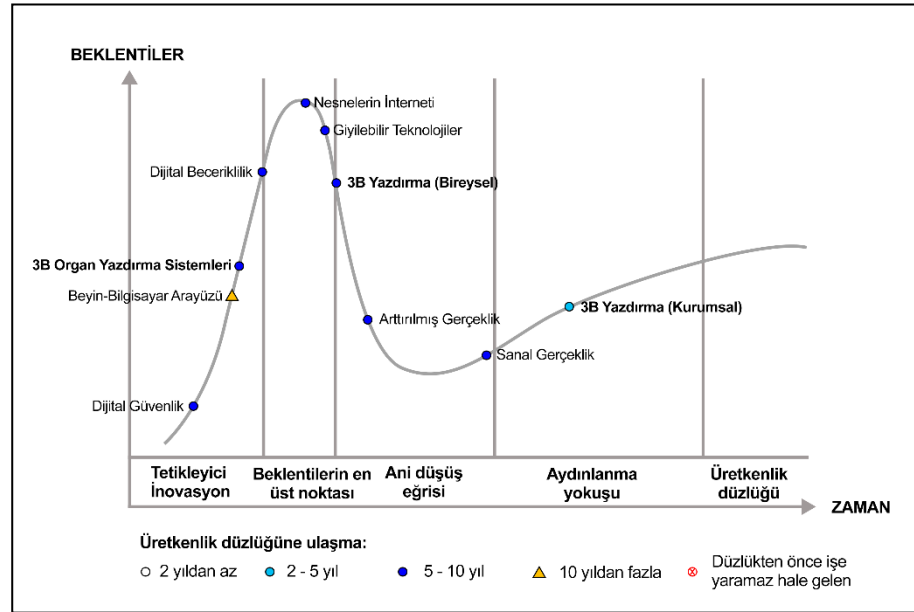
Keywords: Three dimensional printing, three dimensional printer, three dimensional design

Giriş

Teknolojinin büyük bir hızla gelişim gösterdiği günümüzde, bilgi de sürekli bir değişim göstermektedir. Bilginin değişmesi ve gelişmesiyle birlikte teknolojik ilerleme hızla devam etmektedir. Toplumlar ise çoğu zaman bu ilerlemeden olumlu yönde etkilenmektedir. Kablosuz internet, akıllı telefon, tablet bilgisayar ve bulut bilişim gibi birçok teknoloji hayatımızı kolaylaştırmaktadır. Hayatımızı kolaylaştırma ve dönüştürme potansiyeli taşıyan ve günümüzde giderek yaygınlaşan teknolojilerden biri de üç boyutlu (3B) yazdırma teknolojisidir.

Toplumdaki bireyler bir yenilik ile karşı karşıya kaldıklarında, bu yeniliği benimseme ve gelecekte kullanma durumlarına ilişkin bazı kararlar alma noktasına gelirler. Genellikle bu süreç bireyin, bir yeniliği kullanmaya yönelik olumlu bireysel tepkiler geliştirmesi, kullanıma yönelik olumlu davranışsal niyetler oluşturması ve sonrasında o yeniliği kullanması şeklinde ilerlemektedir (Davis, 1989; Rogers, 2003). Sözü edilen yenilik, birey için günlük yaşamında yada profesyonel alanında karşılaştığı herhangi yeni bir durum olabilir. Örneğin, bir öğretmen için alanyazında karşılaştığı yeni bir öğretim yöntemi yeniliği ifade ederken bir esnaf için bu yenilik, satışı yapılacak ürünlerin etiketlenmesinde kolaylık sağlayacak yeni bir etiketleme teknolojisi olabilir. Bu noktada, bireylerin bir yeniliği benimseme ve kullanma süreçlerini doğrudan etkileyen bazı öğeler bulunmaktadır. Bir birey, sözü edilen yeniliğin kendisinin performansında artışa sebep olacağını düşünüyor; harcayacağı fiziksel veya zihinsel çabayı azaltacağını öngörüyor ve aynı zamanda çevresindeki bireylerden de bu konuda onay ve takdir alacağına inanıyorsa, o yeniliği kabul etme ve kullanma davranışı gösterecektir. Elbette ki bu süreçte ilgili yeniliğe ilişkin gerekli altyapı, yardım ve okuryazarlık desteğine de sahip olması önemli bir etkidir. Bu çalışmada, ele alınan yenilik 3B yazdırma teknolojileridir. 3B yazdırma teknolojilerinin, yukarıda sözü edilen beklentileri karşılama potansiyeli sebebiyle gerek bireyler gerekse bireylerin görev yaptığı kurumlar tarafından hızla benimseneceği öngörülmektedir. Halen bireysel kullanıma yönelik 3B teknolojilerinin maliyetlerinin görece yüksek olması, bu teknolojilerin kurumsal ölçekte kullanımlarının daha yaygın olması sonucunu doğurmaktadır. 2014 yılında 100 üretim firması ile gerçekleştirilen bir araştırma sonuçlarına göre bu firmaların %11'inde 3B yazdırma teknolojisi ile üretilen parçalar ve ürünlerinin kullanıldığı görülmektedir (D'aveni, 2015). Son yıllarda, özellikle tıp, mimarlık ve görsel sanatlar alanlarında sıklıkla kullanılan bu teknolojiler; askeriye, otomotiv, uzay araştırmaları, giyim, gıda ve eğitim alanlarında ise önemli atılımlar yapmaktadır. Günümüzde yapılan bir çok eğilim belirleme çalışması, çeşitli amaçlar doğrultusunda kullanılan 3B

yazdırma teknolojilerinin gelecekte kurumsal ölçekte kullanımlarına ek olarak bireysel ölçekte de yoğunlukla tercih edilen teknolojiler arasında yer alacağını öngörmektedir (Gartner, 2015; Johnson, Adams Becker, Estrada ve Freeman, 2014). Bu çalışmalara örnek olarak, yeni teknolojilerin kabul ve kullanım döngüsünü ele alan Gartner Hype Döngüsü (Gartner, 2015) çalışması verilebilir. Her yıl güncellenen bu döngü, inovasyon ile birlikte tetiklenerek yükselen teknolojileri, bu teknolojilerden beklentilerin en üst düzeyde olduğu noktaları, beklentilerin düşmesini ve yaygın bir teknoloji haline gelme aşamalarını inceleme amacıyla bilgi teknolojileri araştırma şirketi olan Gartner firması tarafından geliştirilmektedir. Şekil 1'de verilen Gartner Hype Döngüsü incelendiğinde son tüketiciye yönelik (bireysel) 3B yazdırma teknolojilerinin halen beklentilerin en üst noktasında yer aldığı; bununla birlikte beş ila on yıl içerisinde üretkenlik düzlüğüne erişeceği görülmektedir.



Şekil 1. Gartner Hype Döngüsü (Gartner, 2015)

3B Yazdırma Teknolojilerinde Üretim Süreci

3B yazıcılar sayesinde dijital ortamdaki modeller somut nesnelere haline üretilmektedir. Teknik olarak 3B yazıcılar, dijital ortamdaki bilgisayar destekli tasarım dosyalarından (Computer Aided Design) karmaşık nesnelere üretilmektedir (Olla, 2015). 3B yazıcılar üretecekleri fiziksel nesnelere ince katmanlar halinde katmansal olarak üretilmektedir.

3B yazdırma teknolojileri kavramı altında 3B yazıcılar, 3B modelleme yazılımları, 3B tarayıcılar ve 3B mürekkep (filament) bulunmaktadır. 3B yazıcılar modellerden fiziksel nesnelere üretebilmek için 3B modelleme yazılımlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu yazılım çeşitleri arasında bilgisayar destekli profesyonel 3B tasarım yazılımlarından (AutoCAD, 3DS MAX), amatör tasarımcılar tarafından tercih edilen ve kolaylıkla kullanılabilen web tabanlı yazılımlara (SketchUp, Tinkercad, Autodesk123D) kadar geniş bir alternatif bulunmaktadır. Bu yazılımlarda üretilen dijital 3B modeller, ince katmanlar halinde dilimlendirilerek 3B yazıcılar aracılığıyla somut fiziksel nesnelere üretilmektedir. 3B tarama, fiziksel nesnelere 3B modellerini oluşturmak amacıyla taraması ve dijitalleştirilmesidir. 3B tarayıcılar kullanılarak var olan nesnelere ait dijital 3B modeller oluşturulabilmektedir. 3B mürekkep olarak adlandırılan ince tel (filament) hammaddeyi kullanarak dijital modeller fiziksel nesnelere dönüşebilmektedir. 3B yazıcılarda hammadde olarak plastik, toz, reçine, oyun hamuru, seramik, metal, yiyecek hammaddeleri, biyomateryal malzemeler, çimento, cam, çeşitli metaller, metal alaşımları ve bileşik malzemeler kullanılabilir (D'aveni, 2015; Olla, 2015). Bununla birlikte en çok tercih edilen yazdırma materyali olarak dayanıklılığı ve sertliği ile bilinen plastik kullanılmaktadır.



Şekil 2. Katmansal Üretim Süreci (Campbell, Williams, Ivanova, ve Garrett, 2011, s.3)

3B nesne üretim süreci Şekil 2'de görülen aşamaları içermektedir. 3B bir nesnenin üretim sürecinde öncelikli işlem basamağı, nesnenin 3B bilgisayar destekli tasarım modelini oluşturmaktadır. Bu aşamada tasarımcılar iki farklı yol izleyebilir. Birincisi, üretilmesi hedeflenen nesnenin, 3B modelleme yazılımları aracılığıyla dijital ortamlara aktararak 3B bilgisayar destekli tasarım modeline dönüştürülmesidir. İkinci yol ise, varolan bir nesnenin

3B tarayıcılar kullanılarak dijital ortamlarda kullanılabilecek şekilde modellenmesidir. Her iki durumda da oluşturulan bu modellerin dosya uzantısı, bir 3B bilgisayar destekli tasarım formatı olan .STL olarak dijital ortamlarda tutulmaktadır. Bu aşamadan sonra ilgili dilimleme yazılımları aracılığıyla dilimleme işlemi gerçekleştirilerek nesne katmanlarına ayrılmaktadır. Son aşamada ise, 3B yazıcılarda bulunan katmansal üretim süreci özelliği ile nihai nesne üretilmektedir.

3B Yazdırma Teknolojisinin Sahip Olduğu Olanaklar ve Sınırlılıklar

3B yazdırma teknolojisinin mühendislikten eğitime, tıptan sanayiye kadar birçok farklı disiplinde yaygın olarak kullanılması bu teknolojinin kullanıcılarına sunduğu olanaklardan kaynaklanmaktadır. Bu olanaklar; zaman ve maliyet tasarrufu, yedeklemeyi kolaylaştırma, geometrik özgürlük ve çevre dostu olarak sıralanmaktadır. 3B yazdırma teknolojisinin sunduğu olanakların başında zaman ve maliyet tasarrufu gelmektedir. Dünyanın çeşitli yerlerinden elde edilen düzinelerce parçanın birleştirilmesine dayanan geleneksel üretim süreci, birden fazla ve yinelemeli adımların yürütülmesini gerektirmektedir. Bu şekilde bir üretim sürecinde tasarımda yapılacak küçük bir değişiklik üretimin tamamlanma süresini büyük ölçüde arttırarak üretim sürecini zorlaştırmaktadır (Gibson, Rosen ve Stucker, 2010). 3B yazıcılar ile üretim sürecinde ise parçaların yapılandırılması çok zaman gerektirmemektedir. Bu durum üzerinde üretilecek parçaların karmaşıklığına bakılmaksızın üretim sürecinin tek adımda tamamlanması ve montaj gerektirmeyen işlevsel parça üretiminin sağlanması etkili olmaktadır. Dolayısıyla 3B yazıcıların sahip olduğu bu teknoloji, üretim sürecini kolaylaştırmakta, büyük oranda zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır (Campbell ve diğ., 2011). 3B yazıcılar sahip oldukları bu olanaklarla modellerin kolayca değiştirilebilmesini olanaklı kılmakta ve yedeklemeyi kolaylaştırmaktadır. Düşük maliyetle ürünlerin kolayca çoğaltılabilmesini, farklı boyut, stil ve renklere uyarlanabilmesini olanaklı hale getirmektedir (Berman, 2012). 3B yazıcılar bu üretim sürecinde ise gravür ve temizleme solüsyonu gibi zararlı kimyasal kullanımını minimum düzeyde tutmaktadır (Campbell ve diğ., 2011). Ham maddenin erimesi sonucunda ortaya çıkan az miktardaki gazın sağlık üzerinde herhangi bir olumsuz etkisinin gözlenmediği ifade edilmektedir (Thornburg, Thornburg ve Armstrong, 2014). Ancak yine de 3B yazıcı ile basım sürecinde 3B mürekkep olarak adlandırılan ince tel (filament) kombinasyonlarının kullanımı sırasında dikkatli olunması, yüksek ısı sonucu ortaya çıkabilecek zararlı gazların etkisinin azaltılmasına yönelik olarak ortamın iyi havalandırılması ve gaz süzgeçlerinden yararlanılması önerilmektedir (Azimi, Zhao, Pouzet, Crain ve Stephens, 2016; Thornburg ve diğ., 2014). 3B yazdırma teknolojisi

kullanılan ham maddeler nedeniyle geri dönüşümü mümkün kılmaktadır (Campbell ve diğ., 2011). Bu yönüyle 3B yazıcıların çevre dostu bir teknoloji olduğunu söylemek mümkündür. 3B yazıcıların kullanıcılara sunduğu bir diğer olanak ise geometrik özgürlüktür. 3B yazdırma teknolojisinin sahip olduğu katmansal üretim süreci, karmaşık geometrik yapıların üretimini kolaylaştırmaktadır (Segerman, 2012). Bu durum özellikle mühendislik, uzay bilimleri, sağlık gibi alanlarda geometrik özgürlük sağlamakla birlikte; eğitim-öğretim alanında ise soyut kavramlara ilişkin somut öğrenme nesnelerinin geliştirilmesi için yeni fırsatların ortaya çıkmasına katkı sağlamaktadır (Campbell ve diğ., 2011). Henüz yeni bir teknoloji olması nedeniyle pahalı olan 3B yazıcı fiyatlarının yakın bir gelecekte büyük ölçüde düşeceği düşünülmektedir. Bu düşüş ile birlikte bu yazıcıların günlük teknoloji kullanımının bir parçası olacağı; dolayısıyla günlük gereksinimler doğrultusunda kullanılabileceği öngörülmektedir (Berman, 2012). Bir anlamda 3B yazıcıların geleneksel lazer yazıcılar gibi tüketiciye, gereksinimini belirleyip üretme olanağı sağlayacağını söylemek mümkündür.

Gelişmekte olan her yeni teknoloji, hedef kullanıcılarına birçok olanak sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak, gelişim süreçlerini henüz tamamlamamış olan bu teknolojiler yer yer bazı sınırlılıklara sahip olabilmektedirler. 3B yazdırma teknolojisinin de yukarıda sözü edilen olanaklarının yanında sahip olduğu birtakım sınırlılıklar da söz konusudur. bunlar; kısıtlı ham madde, renk ve doku seçenekleri, yüksek maliyet (3B yazıcı fiyatları), güvenlik ve gizlilik ve sınırlı sağlamlık olarak sınırlanmaktadır. 3B yazdırma teknolojilerinin sınırlılıklarının başında kısıtlı ham madde, renk ve doku seçenekleri gelmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3B yazıcılarda ham madde olarak genellikle ABS (Akrilonitril Butadin Stiren - Acylonitrile Butadiene Styrene) plastik tercih edilmektedir. ABS plastiğin üretim sürecinde yaygın olarak kullanılmasının nedenleri, mekanik aygıt, implant gibi küçük ölçekli ürünlerin üretimlerinde rahatlıkla kullanılabilir olması, düşük maliyetli olması ve farklı amaçlara yönelik üretimlerde kullanımlarının olanaklı olmasıdır (Eisenberg, 2013). Ancak ABS plastik bazı spesifik kullanımlarda birtakım sınırlılıklara sahiptir. Örneğin; yalıtkan bir yapıya sahip olan ABS plastiğin iletken yapıya sahip materyal üretim sürecinde kullanımı uygun olmayacaktır (Berman, 2012; Eisenberg, 2013). Bir başka örnek olarak, polimer üretimine gereksinim duyulan durumlarda ABS plastik ile üretilen ürünler, kullanılan ham madde ve katmansal yazdırmayı temel alan üretim süreci nedeniyle geleneksel yöntemlerle üretilen muadillerine göre daha zayıf kalmaktadır (Berman, 2012). 3B yazıcıların sahip olduğu bir diğer sınırlılık ise 3B yazdırma teknolojisi kapsamında kullanılan 3B bilgisayar destekli tasarım modelinin tasarımların izin alınmadan kopyalanma ihtimalini arttırmasıdır (Berman,

2012). 3B yazdırma teknolojisi ile birlikte kişisel üretimin olanaklı hale gelmesi, fikri mülkiyet haklarında ihlale neden olmaktadır. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak yasal düzenleme yapılmasının gerekliliği ifade edilmektedir (Berman, 2012; Bradshaw, Bowyer ve Haufe, 2010). Son olarak her yeni teknolojinin yükselişinde ortaya çıkan yüksek maliyet sorunu 3B yazdırma teknolojileri için de geçerlidir (Berman, 2012; Thornburg ve diğ., 2014). Ancak zamanla endüstriyel kullanımdan bireysel kullanıma doğru bir geçiş yaşanacağı (Eisenberg, 2013) ve özellikle Fab@Home gibi bireysel kullanıcıları teşvik eden projelerle yüksek 3B yazıcı fiyatlarının hızla düşeceği öngörülmektedir (Melchels vd., 2011). Yakın bir gelecekte tıpkı geleneksel lazer yazıcılar gibi 3B yazıcılardan günlük gereksinimler doğrultusunda yararlanılacağı düşünülmektedir (Berman, 2012; Eisenberg, 2013; Thornburg ve diğ., 2014).

3B Yazıcıların Kullanım Alanları

Alanyazın incelendiğinde sağlıktan mühendisliğe, eğlenceden otomotive, eğitimden savunma sanayisine kadar pek çok farklı alanda bu teknolojiden yararlandığı görülmektedir. Bu noktada dikkat çeken en önemli konulardan biri bu çalışmaların son yıllarda artan bir ivmeye kavuşmuş olmasıdır. 3B baskı teknolojilerini kullanılarak gerçekleştirilmiş akademik çalışmalara bakıldığında mühendislik ve medikal alanlarının başı çektiği görülmektedir. Bu çalışmalar genelde ürün geliştirme, canlı doku ve organ baskısı gibi uzmanlık alanlarını içermektedir. 3B yazıcılar sayesinde kişiye özel cerrahi cihazlar, yüz ve bacak protezleri, işitme yardımcıları üretilebildiği gibi, diş alanında dental uygulamalar, ortopedik implantlar ve diş hizalayıcıları sıklıkla gerçekleştirilen uygulamalar arasında yer almaktadır. Ayrıca cerrahi alet üretimi, yumuşak doku ve hücre baskı, biyomedikal iskelet sistemleri, ortopedik ayak ürünleri gibi konularda da 3B yazıcı uygulamaları gün geçtikçe daha fazla kullanılmaktadır (Sağlık Sektöründeki Yeni Umut Işığı: 3D Printer Teknolojisi, 2014). Uluslararası alanda 3B yazıcılar sağlık sektöründe sıklıkla kullanılan teknolojiler arasında yer almaktadır. Örneğin, İngiltere'de 3B yazıcı kullanılarak leğen kemiği üretilmiş ve böylece hastanın değnek yardımıyla yürümesi sağlanmıştır. Hollanda'da ise, 3B yazıcı ile kafatası üretilmiş ve hastanın kafatası değiştirildiğinde beyin fonksiyonlarını rahat bir şekilde geri kazandığı tespit edilmiştir (Sağlık Sektöründeki Yeni Umut Işığı: 3D Printer Teknolojisi, 2014). Belçika'da iki ayrı hastaya 3B yazıcıda üretilen yüz ve çene nakli gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de sağlık alanında 3B yazıcıların dikkat çeken önemli kullanım örneklerinden biri olarak; Sabancı Üniversitesi "Üç Boyutlu Doku ve Organ Basımı Projesi" gösterilebilir. Bu projede 3B yazıcılar kullanılarak canlı hücrelerden aort damarı doku örneği üretilmiştir.

İleriki aşamalarda ise, 3B yazıcı aracılığıyla doku ve organ üretimi gerçekleştirilmesi planlanmaktadır (3D Printer, 2015).

3B yazıcıların farklı alanlarda kullanım durumları incelendiğinde; örneğin mühendislikte Local Motors firmasının 3B yazıcı teknolojisi ile ürettiği “LM3D Swim” isimli aracı 2016 yılında satışa sunmaya karar verdiği görülmektedir. Bu teknolojinin şaşırtıcı kullanım alanlarından bir diğeri ise yiyecek sektörüdür. Hollandalı süpermarket sahibi Albert Heijn 3B yazıcı kullanarak müşterilerin kendi pasta süslerini kendilerinin tasarımlarına ve üretmelerine olanak sağlayan bir sistem geliştirmiştir. Sanat çalışmalarının dijital ortamlara taşınması ve giderek dijital sanatlar alanında büyük atılımların yapılmasına paralel olarak 3B teknolojilerin kullanımı oldukça yoğundur. Örneğin; Boyraz ve Dolunay’ın (2014) 3B yazıcılar üzerine gerçekleştirdikleri bir çalışmada, 3B yazıcılar heykel sanatında ön modelleme aşamasında kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre heykel yapımının ön aşamasının 3B yazıcılar ile yapılması ön modelleme için gerekli sürenin kısalmasını sağlamıştır. Ayrıca heykelin mekanizmalarını ve niteliğini belirlemek için 3B yazıcıdan ön model üretilmesi oldukça faydalı bulunmuştur. Son yıllarda son kullanıcı ürünlerinin maliyetinin düşmesi, tıp ve mühendislik eğitimi çalışmalarının yanında K-12 seviyesinde yapılan çalışmaların da artmasına neden olmaktadır. Örneğin fen, matematik, teknoloji ve mühendislik gibi alanlara ilgi çekmeyi amaçlayan çeşitli projelerde 3B baskı teknolojilerinin kullanıldığı görülmektedir. 3B yazıcılar konusunda ulusal kapsamda yapılan çalışmaların sınırlılığı dikkati çekmektedir.

3B Yazıcıların Eğitim Ortamında Kullanımı

3B yazıcıların eğitim ortamlarında kullanım durumları incelendiğinde, öncelikli teknoloji tercihleri arasında yer almadığı görülmektedir. Son kullanıcı pazarına yönelik 3B yazıcıların kısa denilebilecek bir süre önce ortaya çıkmış olmaları, eğitim alanında günümüzde sıklıkla tercih edilmiyor olmalarının önemli etkenlerinin başında gelmektedir. Buna ek olarak öğrenme-öğretme ortamlarına teknolojinin entegrasyonu konusunda da dikkat edilmesi gereken önemli bir takım hususlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki ve belki de en önemlisi 3B yazıcı teknolojilerinin öğrenme-öğretme ortamlarında uygun biçimde kullanılabilmesi için teknik destek, yönetsel destek, yazılım ve donanım erişimi gibi okullara ait altyapı faktörlerinin uygun olması durumudur. Buna örnek olarak öğretmen ve öğrencilerin bu teknolojiyi deneyimleme imkânına sahip olması, ayrıca bu konuda uzman bir ekip tarafından yerel desteğin de sağlanıyor olması oldukça önemlidir. Buna ek olarak güncel bir teknoloji

olması sebebiyle 3B yazıcılara ait yazılım, donanım ve ham madde giderlerinin yüksek olması, bu teknolojilerin eğitim ortamlarında yaygın bir biçimde tercih edilememesine yol açmaktadır. Bu sınırlılıklar incelendiğinde özellikle maliyet boyutuna yönelik birtakım çözüm önerileri alanyazında yer almaktadır. Bu çözüm önerileri arasında en dikkat çeken yapı ise açık-kaynak koda sahip teknolojilerin kullanımınıdır. Öğretim ortamlarında 3B yazıcılar gibi ciddi maliyet sorunlarına neden olabilecek teknolojik unsurların, açık kaynak teknolojiler aracılığıyla çözüme kavuşturulması; teknolojik yeniliklerin maddi boyutlarının ve teknolojik araç-gereç maliyetlerinin de eğitim ortamlarında birer sorun olarak görülmesinin önünde destekleyici bir unsur olarak değerlendirilebilme potansiyeline sahiptir. Öğretim ortamlarında açık-kaynak teknolojilerin potansiyel kullanım durumlarını ortaya koyan bir çalışma ile öğretmenlere yönelik bir kurs içeriği hazırlanmış ve açık-kaynak teknolojilerinden yararlanarak 3B yazıcı üretimi gerçekleştiren öğretmenlerin edindikleri bu deneyimi kendi sınıflarında da hemen uygulamaya başladıkları tespit edilmiştir (Schelly, Anzalone, Wijnen ve Pearce, 2015). Dolayısıyla 3B yazıcıların sınırlılık olarak nitelendirebileceğimiz maliyet faktörlerinin üstesinden gelme adına açık-kaynak teknolojilerden yararlanma imkânı bulunmaktadır.

Öğrencilerin kendi fikirlerini 3B yazıcılar aracılığı ile somut modellere dönüştürmesinin, öğrencilerin hayal gücünü geliştirebileceği ifade edilebilir. 3B yazıcılar ile öğrenciler hayalini kurdukları veya ders kapsamında öğrendikleri soyut bilgileri somutlaştırabilmektedir. Böylece, özellikle fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (FeTeMM) etkinliklerinde öğrencilerin yeni fikirler üretmeye ve çalışmaya yönelik olarak motivasyonlarının artış göstereceği, öğrencilerin kendi tasarladıkları objelere dokunabilmesinin de öğrenciler için benzersiz bir deneyim imkânı sunacağı düşünülmektedir (Brown, 2015). Ayrıca öğrenciler çevrelerinde gördükleri problemleri tespit ederek onlara çözüm üretmek için zihinsel olarak yeni tasarımlar oluşturmaya yönelmektedir. 3B yazıcılar ise, öğrencilerin oluşturduğu bu çözümlerin somut hale getirilmesinde kullanılmaktadır. Bu teknoloji kullanılarak üretilen materyaller ile öğrencilerin farklı duyu organlarına hitap edilebilmekte ve böylelikle eğitsel açıdan tam ve kalıcı öğrenmeye yardımcı olmaktadır. Alanyazın incelendiğinde 3B yazıcı teknolojilerinden eğitim alanında nasıl yararlandığına ilişkin yapılan açıklamaların büyük bir kısmında bu teknolojinin sadece yazılım ve donanımsal olarak nasıl kullanılabileceğine yönelik önerilerin yer aldığı görülmektedir. Ancak 3B yazıcı teknolojilerinin eğitsel amaçlar doğrultusunda kullanımına yönelik

beklentiler bu teknolojinin kapsamlı bir öğretim programıyla nasıl destekleneceğinin belirtilmesi ve ilişiksel yapıların ortaya konulması yönündedir (Brown, 2015).

3B yazıcılar büyük çaplı üretim tesislerinin yapabildiği üretim işlerinin benzerlerinin ev ve ofis ortamlarında yapılmasına olanak sağladıkları için imkân sağlayıcı teknoloji ürünleri olarak nitelendirilebilirler. Bu yönleriyle örgün eğitimin sınırlılıkları içinde daha önce yapılması mümkün olmayan ya da yapılması zaman ve kaynak kullanımını bakımından verimli olmayan tasarım ağırlıklı etkinliklerin gerçekleşmesine katkı sağlayabilirler. Bundan dolayı, 3B baskı ürünleri, eğitsel etkinlikler kapsamında üretkenliği artırmaya yönelik teknolojiler olarak düşünülebilir (Lipson ve Kurman, 2013). Bu baskı teknolojisi sayısal bir modelden fiziksel bir nesnenin tamamını ya da parçalarını oluşturmaya yaradığından, sayısal ortamda 3B bir model tasarlanmadan 3B yazıcıların sunduğu imkânlardan faydalanmak mümkün olmayacaktır. Eğitim-öğretim ortamlarında kullanılacak 3B modeller ise farklı kaynaklardan sağlanabilir. Örneğin, hazır nesne depolarından faydalanılabilir, çeşitli ihtiyaçlara yönelik özgün modeller tasarlanabilir ya da 3B tarayıcılar kullanılarak fiziksel bir nesne sayısal ortama aktarılabilir (O'Neill ve Williams, 2013). Bu gibi yollarla edinilen modeller 3B olarak basıldığında geleneksel çizimlerle kavranması zor geometrik şekil ve tasarımların eğitim ortamına aktarılması sağlanabileceği gibi (Segerman, 2012) nadir bulunan eğitsel nesnelerin kopyalarının farklı konumlardaki kişilerle paylaşılmasını da mümkün kılacaktır (Johnson ve diğ., 2014). 3B yazıcılar öğrenme nesnelerinin üretimini kolaylaştırmalarının yanında öğrenci temelli etkinlikleri zenginleştirerek bilgi ve beceri gelişimini desteklemek amacıyla da kullanılabilirler. Örneğin, proje tabanlı ve problem tabanlı eğitim etkinliklerinde tasarlanan çözümlerin uygulanmasında imkân sağlayıcı bir teknoloji olarak 3B yazıcılardan faydalanılabilir ve öğrenme deneyimine yeni bir boyut katılabilir.

Proje ve problem tabanlı öğrenme ortamları, öğrenci merkezli bir yaklaşımla çeşitli 21. yy becerilerinin gelişmesine katkı sağlamaktadırlar (Bell, 2010; Ravitz, Hixson, English ve Mergendoller, 2012). Proje tabanlı etkinlikler kapsamında belirlenmiş bir sorunu çözmek için çalışan öğrenciler olası bir çözüm önerisi sunmadan önce mevcut durumu inceler ve bir durum tespitinde bulunurlar. Bu tespiti yaparken öğrencilerin gözlem, veri toplama ve analitik düşünme gibi becerilerinin gelişimi sağlanabilir (Lehrer ve Romberg, 1996). Bireysel projeler veya grup projeleri mümkün olsa da ortaklaşa çalışma başta olmak üzere çeşitli 21. yy becerilerinin gelişmesine katkı sağlamak adına grup projeleri daha verimli bir yapı sunmaktadır (Bell, 2010). Takip eden aşamada ise çeşitli kaynaklardan araştırma yapılması ve

toplanılan veriler ışığında çözüme yönelik bir tasarım oluşturulması gerekecektir. Tasarım aşamasına geçilmesiyle birlikte 3B yazıcılar da sürece dâhil edilebilir. Öğrenciler tasarımlarını oluştururken veri sentezleme, yaratıcı düşünme, çözümleyici düşünme ve üretkenlik gibi alanlarda gelişim gösterirken aynı zamanda birbirlerine destek olarak ortaklaşa çalışma ve iletişim becerilerini geliştirebilirler (Savery, 2015). 3B yazıcılarla zenginleştirilmiş bir öğrenme ortamında bilgisayar destekli tasarım bilgisi de işe koşulacağından öğrencilerin görsel medya okuryazarlıklarının da gelişimi desteklenebilir (Verner ve Merksamer, 2015). 3B yazıcılar sanal nesnelere fiziksel nesnelere geçişi de sağladığından aynı zamanda kuramsal bilgilerin uygulama ile doğrulanması, olası kavram yanlışlarının farkına varılması ve giderilmesi yollarıyla daha etkili bir öğrenme deneyiminin gerçekleştirilmesi sağlanabilir. 3B yazıcılarla basılan fiziksel nesnelere, öğrencilere yaptıkları tasarımlarının başarı düzeyini inceleme ve çeşitli düzenlemelerle mevcut tasarımlarını geliştirme olanağı sağlamaktadır (Kostakis ve Papachristou, 2014). Böylece ilk tasarımın oluşturulmasından projenin tamamlanmasına kadar geçen tasarlama ve güncelleme döngülerinden oluşan süreçler 3B yazıcılar yardımıyla daha hızlı bir şekilde tamamlanabilir.

3B Yazdırma ile İlgili Alanyazındaki Araştırmalar ve Kullanım Örnekleri

3B yazıcıların eğitim alanında uygulanmasına yönelik olarak yurtiçinde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde bu teknolojinin öğretim ortamlarından ziyade doğrudan eğitim ortamlarında kullanıldığı görülmektedir. ABD'nin Utah eyaletinde 2014 yılında düzenlenen Uluslararası Roket Mühendisliği Yarışması (IREC) için İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesinin ürettiği roketin yapımında bazı parçalar eksik kalmıştır. Bu eksik parçaların üretiminde ise 3B yazıcılardan faydalanılmış ve 3B yazıcı teknolojisi ile geliştirilen roket fırlatılabilmektedir (Prioid, 2015). Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünde 2015 yılında 3B yazıcıların kullanım alanı ve 3B yazıcılar ile neler yapılabileceğine ilişkin bir seminer gerçekleştirilmiştir (Biyomedikalde 3D Yazıcı Uygulamaları Radyo Kİ, 2015). 3B yazıcının önemini vurgulayan bir diğer çalışma ise 2015 yılında Gedik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi tarafından gerçekleştirilen seminer etkinliğidir. Uludağ Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Sabancı Üniversitesi, Çukurova Üniversitesi 3B yazıcıları eğitimleri sürecinde kullanan üniversitelerden bazılarıdır. Uludağ Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu 2007 yılından beri öğrencilerin tasarımlarını 3B yazıcılar ile üretebilmelerine imkân sağlamaktadır (Mesleki Eğitimde Dimension Dönemi, 2015). 3B yazıcılar ile Makine Mühendisliği öğrencileri otomotiv yedek parça tasarımı, Mimarlık bölümü öğrencileri bina tasarımı, Şehir Bölge Planlama öğrencileri

şehir tasarımı, harita mühendisliği öğrencileri coğrafik modelleri somut birer obje olarak üretebilmektedirler (Sınıfta Dimension 3D Printer Kullanmak Yaratıcılığı Tetikliyor, 2015).

Tridi Atölyesinin düzenlemiş olduğu seminerde 3B yazıcı sistemleri tanıtılmış ve Gedik Üniversitesi'nin logosu ve bir vazo modeli 3B yazıcı aracılığıyla üretilmiştir (3D Printer Sistemleri Semineri, 2015). Ayrıca Ankara'da 2015 yılında "Mühendislikte 3D Yazıcı Yöntemleri" isimli panel düzenlenmesi ile de 3B yazıcıların önemi ve gelecekte daha çok ön plana çıkacağı vurgulanmıştır (TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2015). Mayıs 2016 tarihinde gerçekleştirilecek olan "3D Print Expo Turkey" sempozyumunda ise 3B yazıcılar ve modelleme üzerine çalışmalar sunulacaktır.

Türkiye'nin ilk 3B yazıcısı için modelleme yazılımı olan Cubinter ile 4-13 yaş arasındaki çocuklar 3B modelleme ve 3B yazıcı ile tanışmıştır. Böylece çocuklara sadece 3B modelleme yapmayı öğretmekle kalmayıp aynı zamanda, Cubinter ile modelledikleri objeleri 3B yazıcı aracılığıyla üreterek öğretim programı desteği sağlamayı hedeflemişlerdir. Cubinter çocukların Lego uygulamalarında olduğu gibi küp ekleyip çıkarma yöntemi ile modellemeyi öğrenmelerini sağlamaktadır. Böylece çocuklar, 3B yazıcı teknolojisiyle tanışırken 3B modellemeyi ve oyunla öğrenme imkânını da yakalamaktadır. Cubinter uygulamasına Özyeğin Üniversitesi girişim hızlandırma programı ile destek sağlanmıştır (Cubinter - Yerli 3D Modelleme Uygulaması, 2015).

Doğa Koleji okulları tarafından da 3B yazıcıların Türkiye'de eğitim alanında kullanılması desteklenmiştir. Microsoft temsilcileri de Doğa Tuzla Kampüsü'ne gerçekleştirdikleri ziyaretlerde 3B eğitim sınıflarında 3B içerikli derslere katılmış ve 3B tasarım atölyelerinde öğrencilerin tasarımlarını 3B yazıcılar ile somut hale getirmeleri sürecini gözlemlemişlerdir. Microsoft temsilcileri bunun gibi 3B tasarım sınıflarının ülkenin geleceğine yapılan en iyi AR-GE (araştırma geliştirme) yatırımı olarak tasvir etmişlerdir. Böylece Microsoft temsilcileri tarafından da 3B yazıcıların eğitimde kullanılmasının önemi ve gerekliliği vurgulanmıştır (Çözüm Ortaklarımız-Doğa Okulları, 2015). Ayrıca Bursa'da Endüstri Meslek Lisesi Makina Ressamlığı Bölümü öğretmenleri 3B yazıcı ile kişiye özel vücutla uyumlu olan dış protez üretmeyi başarmıştır.

3B yazıcıların eğitimde kullanımına ilişkin yurt dışında gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde yurtiçinde gerçekleştirilen çalışmalara kıyasla bu teknolojinin öğretim ortamlarında da kullanıldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu noktada 3B yazdırma teknolojilerinin bir araç olmaktan çıkarılıp, bir öğretim nesnesi yapısına kavuşturulması hedeflenmiştir. Colorado Boulder Üniversitesi görme engelli çocuklar için 3B yazıcılar ile

kabartmalı 3B çocuk kitapları basmıştır. Böylece görme engelli çocuğu olan aileler istediğı kitaptaki sayfanın resmini 3B yazıcıya göndererek 3B kabartılı bir kitaba sahip olabilmektedir. Bunun için ebeveynlere, öğretmenlere ve destekleyicilere kendi engelli çocuklarına yönelik olarak 3B kitabı üretmelerini sağlamak için proje kapsamında gerekli yazılımı ve 3B yazıcıyı nasıl kullanacaklarını öğretmişlerdir (Görme Engelli Çocuklar için 3D Basılmış Kabartma Resim Kitapları, 2014).

Minneapolis Edina'daki Southview ortaokulunda, endüstriyel teknoloji öğretmeni Peter Grimm, 8. sınıf mühendis adayı öğrencilerine tasarımlarını 3B yazıcı olan uPrint ile ürüne dönüştürmelerini sağlamıştır. Öğretim sürecinde 3B yazıcı ile tasarımlarını gerçekleştiren öğrencilerin tasarım programına olan ilgilerinin arttığı ve bunun sağlayan unsurun 3B yazdırma teknolojileri olduğu vurgulanmıştır. Böylece öğrencilerin zihinlerinde oluşan tasarımları hemen hayata geçirebildikleri ifade edilmiştir. Ayrıca 3B yazıcılar ile öğrenciler tasarımlarını fiziksel olarak görebildiklerinden tekrar tekrar çalışarak düzeltme fırsatını yakalayabilmışlerdir. Bu uygulama ile 3B yazıcı öğrencilerin mühendisliği daha iyi anlamalarını sağlamanın yanında öğrencilerin derse yönelik motivasyonlarında da büyük bir artış sağladığı gözlenmiştir (Ortaokul öğrencileri uprint kullanıyor, 2015).

The New England Institute of Technology (NEIT) 3B yazıcıların eğitim-öğretim süreçlerine entegrasyonunu başarılı bir şekilde sağlamıştır. NEIT makine mühendisliği öğretim üyesi Prof. Bruce Feodoroff, öğrencilerin iki boyutlu olarak çizdiği tasarımlarını 3B yazıcılar ile somut hale getirebildiklerini ifade ederek, 3B yazıcılar sayesinde yaratıcılığa karşı motivasyonlarının arttığını ve önceki çalışmalarını inceleyerek daha sonraki çalışmalarında daha yaratıcı fikirleri 3B yazıcı teknolojisi ile üretebildiklerini belirtmiştir. 3B yazıcılar öğretmen ile öğrenci arasındaki iletişimi desteklemekte ve öğrencilerin yeni tasarımlar yapması konusunda motive edici bir unsur olmaktadır (Dimension 3D Printers, 2016). Özellikle 2010 yılı ve sonrasında yaygınlık kazanan 3B yazıcı teknolojilerine ilişkin bugüne kadar edindiğimiz deneyimler, 3B yazdırmanın ve tasarımın öğrencilerin çeşitli okuryazarlık yeterliklerini etkilemekte olduğunu ve öğrenenlerin yaratıcı kapasitelerine olumlu yönde destek olduğunu göstermektedir (Kostakis, Niaros ve Giotitsas, 2015).

Yapısal olarak güçlendirici bir öğrenme aracı olarak kullanılabilme potansiyelinin bulunması, öğrencilerin sanal ve fiziksel nesnelere arasındaki ilişkiyi kavramalarına ve düşüncelerini ekrandan somut nesnelere taşıyabilecek imkânı sağlamanın bakımından 3B yazıcıların öğrenme-öğretme ortamlarında etkili biçimde kullanılması önerilmektedir. Buna

ek olarak öğrenciler için öğrenme ve çalışmaların kapsamlarını değiştirme niteliğine sahip olan bu dönüşebilir teknoloji ile öğrenmeye yönelik farklı bir bakış açısı geliştirilmesinin de mümkün olduğu düşünülmektedir (Loy, 2014).

3B yazıcılardan faydalanılan etkinliklere örnek olarak Amerikan Doğal Tarih Müzesi (American Museum of Natural History: AMNH) öncülüğünde lise öğrencileriyle yapılan bir çalışma verilebilir (AMNH, 2013). Çalışmada öğrenciler çeşitli dinazor kemiklerini inceleme fırsatı bulmuştur. İnceleme sırasında 3B tarayıcı vasıtasıyla bilgisayar modelleri oluşturan öğrenciler bilgisayar ortamında kemikler üzerinde daha detaylı çalışma ve gerektiğinde düzenleme yapma fırsatı da bulmuşlardır. Son olarak 3B yazıcı aracılığıyla kemiklerin ölçeklenmiş kopyalarını oluşturan öğrenciler ellerindeki parçalardan bir dinazor iskeleti inşa etmeye çalışmışlardır. Öğrenciler kemiklerin hangi dinozorlara ait olduğunu bilmediklerinde süreç boyunca tıpkı bir fosil bilimci gibi çalışma ve fikir yürütmeleri gerekmiştir. Çalışma sonunda yapılan öğrenci yorumlarına da bakıldığında 3B yazıcıların bu gibi yaşayarak öğrenme deneyimlerine önemli katkılar sağlayabileceğini söylemek mümkündür.

Başka bir çalışmada ise, okul sonrası bir kurs kapsamında 3B yazıcılardan faydalanarak öğrencilerin öğrenmeleriyle birlikte merak ve araştırma güdülerini de desteklemeye çalışılmıştır (Mavromanolakis, 2015). Kurs süresince öğrenciler temel konuların yanında aşamalı olarak 3B baskı teknolojisiyle tanıştırılmışlardır. 2000 yıllık bilgisayar benzeri bir aygıtın kalıntısı üzerinde çalışan öğrenciler dönem sonunda aygıtın işlevsel bir kopyasını oluşturmayı başarmışlardır. Dolayısıyla öğrencilerin hem 3B yazıcı teknolojilerinden çıktı alma bağlamında eylem yeterlikleri kazandıkları hem de 3B modeller üretecek teknik bilgi edindikleri anlaşılmaktadır. Özetle 3B baskı teknolojisi öğrenenlere yönelik olarak tasarım ve eylem yeterliği kazandırma bağlamında katkı sağlamıştır.

Kroll ve Artzi (2011) havacılık ve uzay mühendisliği öğrencileriyle birlikte 3B yazıcılardan faydalanarak bir hızlı prototipleme uygulamasını gerçekleştirmiş ve bu teknolojinin eğitim ortamına uygunluğunu değerlendirmişlerdir. Ders etkinliği kapsamında uçak modelleri tasarlayıp bu modellerin hava koşullarına uygunluğunu rüzgâr tüneline sınımaları gereken öğrenciler süreçte 3B yazıcılardan faydalanarak hesaplamalarının doğrulamasını yapma ve istenilen özelliklere en uygun tasarımı hızlıca oluşturma imkânı bulmuşlardır. Sonuç olarak, 3B yazıcıların maliyeti düşürücü ve kullanımı kolay bir teknoloji olduğunu belirten araştırmacılar, uygulamada karşılaşılabilecek sorunlara ve tavsiye edilen çözümlere ayrıca değinmişlerdir.

McMenamin, Quayle, McHenry ve Adams (2014) çalışmalarında tıp eğitiminde kadavraların kullanımıyla ilgili yaşanan çeşitli sorunları 3B yazıcılar aracılığıyla ortadan kaldırmanın mümkün olup olmadığını araştırmışlardır. 3B tarayıcılarla bilgisayar ortamına aktarılan kadavralar anatomiye uygun olarak renklendirilmiş ve renkli baskı yapabilen bir 3B yazıcı yardımıyla baskıları yapılmıştır. Elde edilen fiziksel modelleri inceleyen ekip, birçok açıdan anatomi eğitimde kullanılan kadavralara eşdeğer oldukları sonucuna varmıştır. Kolayca çoğaltılabilme ve ölçeklenerek farklı boyutlara uyarlanabilme gibi artıları da göz önüne alındığında, 3B yazıcılarla üretilen kadavra kopyalarının başta üniversiteler ve normalde kadavralara erişemeyen okullar olmak üzere pek çok kurumda kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Maddelerin özelliklerinin fiziksel olarak temsil edilmesi üzerinde çalışan Bara, Turner, Zhang ve Hawkins (2015) de çalışmalarında 3B yazıcılardan faydalanmışlardır. Simülasyonlardan elde edilen verileri basılabilir 3B modellere çeviren ekip, sonrasında bu modellerden fiziksel ürünler elde etmeyi başarmıştır. Geçmişte bilgisayar grafikleriyle aktarılabilen madde özellikleri böylece farklı seviyelerde bilgi ve birikime sahip bireylerin bile kolayca algılayabileceği bir hale getirilmiştir.

Tartışma ve Öneriler

Günümüzde teknolojiye hızlı gelişmelere paralel olarak önem kazanan güncel teknolojilerden biri de bir hızlı prototipleme teknolojisi olarak ortaya çıkan ve 90'lı yıllardan beri gelişimini sürdüren 3B yazıcılardır. 3B yazıcılar sahip oldukları zaman ve maliyet tasarrufu, yedeklemeyi kolaylaştırma, geometrik özgürlük, güvenlik ve gizlilik, çevre dostu olma gibi olanaklar sayesinde farklı disiplinlerde uygulama alanı bulmaktadır. Dolayısıyla hemen her alanda yaygın olarak kullanılan 3B yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında da kullanımı kaçınılmaz bir hal almıştır. Buna karşın eğitim alanında 3B yazdırma teknolojilerinin kullanımı diğer uygulama alanlarına kıyasla oldukça sınırlı kalmıştır. Bu teknolojinin eğitim alanında kullanım durumları incelendiğinde, başlangıçta sınırlı bir kullanım alanına sahip olduğu ancak pedagojik açıdan dikkate değer bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür (Loy, 2014). 3B yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında henüz yaygın biçimde kullanılmıyor olmasının en önemli nedenleri arasında, bu teknolojiyi etkin biçimde kullanması beklenen bireylerin 3B yazdırma teknolojisiyle birlikte gelen yazılım ve donanımı kullanabilme adına öngörülen niteliklere henüz sahip olmaması ve öğrenme-öğretme ortamlarında kullanımının oluşturacağı maliyetin yüksek olması yer almaktadır. Her ne kadar

zamanla 3B yazdırma teknolojilerine ilişkin ürün gamı çeşitlenerek zenginlik kazanıp, maliyet unsuru da nispeten zamanla sorun olmaktan çıkmış olsa bile bu teknolojinin öğrenme-öğretme ortamlarında etkin biçimde kullanılabilmesi için günümüzde beklenen düzeylere ulaşamamıştır. Öğretmenlere ve öğrencilere kısa sürede istedikleri farklı boyut, stil ve renklere sahip materyaller üretme olanağı sunma potansiyeli olan (Berman, 2012) 3B yazdırma teknolojilerini eğitim ortamlarında kullanabilmek için açık kaynak tasarım teknolojilerden faydalanılarak maliyet sorunlarına çözüm oluşturma girişimleri bulunsa da, 3B yazdırma teknolojilerinin eğitim ortamlarında etkin biçimde kullanılabilmesi için zamana ihtiyaç duyulduğuna ilişkin görüşler hâkimdir (Schelly ve diğ.,2015). Günümüzde çeşitli alanlarda kullanılan ancak zamanla daha da yaygın biçimde kullanılacağı öngörülen (Gartner, 2015) 3B yazdırma teknolojilerinin açık kaynak tasarıma dayandırılması ile eğitim alanında dönüştürücü bir potansiyele de sahip olduğu görülmektedir. Süreçte 3B yazıcıların eğitimciler tarafından benimsemesini sağlamak amacıyla okullara sadece donanımı sağlamanın ötesinde bu teknolojiyi tanıtıcı etkinlikler düzenlemek ve öğrenme çıktılarını destekleyici etkinlik örneklerini çeşitlendirmek faydalı olabilir. Ayrıca 3B yazıcıların eğitim ortamlarında kullanımını desteklemek için dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri olarak öğretim programlarının bu teknolojiyi kullanabilecek yapıda uyarlanması gerekliliğidir. Diğer alanlarda bir üretim aracı olarak kullanılan 3B yazdırma teknolojilerinin, eğitim alanında kullanımında ise bir araçtan ziyade bir öğretim nesnesi olarak kullanılması beklentiler arasında yer almaktadır. Bu noktada eğitimcilere düşen en önemli görev ise bu teknolojiyi sınıfta kullanılan yenilikçi bir teknolojik unsur olmaktan kurtarıp, ders içeriklerine uygun biçimde entegre edebilecek öğretimsel yapıyı geliştirmeleridir (Brown, 2015). Böylelikle 3B yazdırma teknolojileri diğer alanlarda kullanıldığı tasarım unsuru olma görevinden sıyrılarak; öğrencinin kendini öğrenme merkezine almasını sağlayarak, bireysel öğrenme hızlarına uygun yapıda öğrenme ortamlarının oluşturulmasını destekleme noktasında önemli bir fırsat sağlayacaktır. Gelecekte gerçekleştirilecek olan çalışmalar ile bu öngörülerin desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Eğitim alanında 3B yazdırma teknolojileri proje tabanlı ve probleme dayalı öğrenme etkinliklerinde, FeTeMM tabanlı etkinliklerde, robotik uygulamalarında ve öğrencilerin teknoloji ile üretim becerilerini eşzamanlı işe koşan “Maker Hareketi” etkinliklerinde materyal üretmeye yardımcı bir araç olarak işe koşulabilir. Üretilen materyaller sayesinde öğrencilerin, gerçek yaşam problemlerine çözüm ararken fikirlerini somut nesnelere üzerinde deneme fırsatı bulabilecekleri düşünülmektedir. Bunun yanında bu sürecin, öğrencilerin bilgi

işlemsel düşünme becerilerini geliştireceği gibi kendilerine araştırmacı, yaratıcı ve tasarımcı birer kimlik kazandıracığı da öngörülmektedir. Ayrıca, 3B yazdırma teknolojilerinin öğrencilerin fikirlerini gerçeğe dönüştürebilmeleri için teknik olarak donanımlı bireyler haline gelmelerinde yardımcı olma potansiyeli bulunmaktadır. Tüketerek değil üreterek öğrenen yeni nesil bireylerin yetişmesinde 3B yazdırma teknolojilerinin gözle görünür katkıda bulunacağı öngörülmektedir. 3B yazdırma teknolojilerinin eğitim alanında kullanılması, öğrencilere olduğu kadar öğretmenlere de birçok alanda yarar sağlama potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler sayesinde öğretmenler, öğrencilerinin gereksinimlerine uygun olan öğretim materyallerini kendileri tasarlayabilme ve bunları somut nesnelere dönüştürebilme olanağına sahip olabileceklerdir. Böylesi bir senaryoda öğretmenler, öğrencilerine bireyselleştirilmiş öğrenme ortamları sunabilme fırsatı yakalayabileceklerdir.

Bu çalışmanın gelecekte yapılacak 3B yazdırma teknolojileri ile ilgili araştırmalara kuramsal bir temel oluşturması hedeflenmiştir. Bununla birlikte, gelecekte yapılacak çalışmalarda 3B yazdırma teknolojilerinin okul öncesi eğitimi, özel eğitim, güzel sanatlar eğitimi gibi farklı alanlarda kullanımlarına ilişkin kuramsal çalışmaların yapılması alanyazına katkı sağlayacaktır. Bunun yanı sıra, ileride desenlenecek uygulamalı çalışmalarda, eğitim kurumlarındaki öğretmen, öğrenci ve veliler başta olmak üzere her bir paydaşın 3B yazdırma teknolojileri konusunda farkındalık kazandırma ve beceri geliştirme amacını gütmesi çalışmaların yaygın etkilerini arttıracaktır. Ayrıca, eğitimin her kademesinde yer alan öğretmen ve öğrenciler ile gerçekleştirilecek deneysel araştırmalarla 3B yazdırma teknolojilerinin öğretme-öğrenme süreçleri üzerindeki etkilerinin araştırılması önerilmektedir.

Kaynakça

- 3D Printer (2015). 19 Aralık 2015 tarihinde <http://sunum.sabanciuniv.edu/en/3d-printer> adresinden elde edildi.
- 3D Printer sistemleri semineri. (2015). 23 Aralık 2015 tarihinde <http://www.gedik.edu.tr/haberler/uc-boyutlu-yazici-3d-printer-sistemleri-semineri> adresinden elde edildi.
- AMNH. (2013). *Using 3D printing to reconstruct dinosaurs, students learn to think like paleontologists*. 8 Şubat 2015 tarihinde <http://www.amnh.org/explore/news-blogs/education-posts/students-use-3d-printing-to-reconstruct-dinosaurs> adresinden elde edildi.
- Azimi, P., Zhao, D., Pouzet, C., Crain, N. E., ve Stephens, B. (2016). Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three-dimensional printers with multiple filaments. *Environmental Science and Technology*, 1260-1268.
- Bara, J. E., Turner, C. H., Zhang, Z. ve Hawkins, C. I. (2015). Tangible visualization of molecular dynamics simulations using 3-D printing. *Education for Chemical Engineers*, 13, 9-16. doi:10.1016/j.ece.2015.07.001
- Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*, 83(2), 39-43. doi:10.1080/00098650903505415
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 155-162.
- Biyomedikalde 3D yazıcı uygulamaları radyo Kİ.* (2015). 21 Aralık 2015 tarihinde <http://radyoki.kocaeli.edu.tr/biyomedikalde-3d-yazici-uygulamalari/> adresinden elde edildi.
- Boyras, B. ve Dolunay, A. (2014). Heykel sanatında ön modelleme aşaması ve üç boyutlu yazıcı uygulamaları. *Ulakbilge*, 2(3), s.69-80.
- Bradshaw, S., Bowyer, A., ve Haufe, P. (2010). The intellectual property implications of low-cost. *SCRIPTed*, 7(1), 5-31. 15 Kasım 2016 tarihinde <http://www2.law.ed.ac.uk/ahrc/script-ed/vol7-1/bradshaw.asp> adresinden elde edildi.
- Brown, A. (2015). 3D Printing in instructional settings: Identifying a curricular hierarchy of activities. *TechTrends*, 59(5), 16-24.
- Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O. ve Garrett, B. (2011). *Could 3D printing change the world? Technologies, potential, and implications of additive manufacturing*. Washintgon, DC: Atlantic Council. 23 Mart 2016 tarihinde http://www.atlanticcouncil.org/images/files/publication_pdfs/403/101711_ACUS_3D_Printing.PDF adresinden elde edildi.
- Cubinter-Yerli 3D Modelleme Uygulaması.* (2015). 23 Aralık 2015 tarihinde <http://erdemnanc.com/cubinter/> adresinden elde edildi.
- Çözüm ortaklarımız-Doğa Okulları.* (2015). 20 Aralık 2015 tarihinde <http://www.dogaokullari.com/tr/cozum-ortaklarimiz> adresinden elde edildi.
- D'Aveni, R. (2015). The 3-D printing revolution. *Harvard Business Review*, 41-48.
- Davis, F. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319-340.
- Dimension 3D Printers.* (2016). 30 Kasım 2016 tarihinde [http://www.stratasys.com/~media/Main/Files/Case%20Studies/Education/Dimension on Printing New England Institute of Technology.ashx](http://www.stratasys.com/~media/Main/Files/Case%20Studies/Education/Dimension%20Printing%20New%20England%20Institute%20of%20Technology.ashx) adresinden elde edildi.
- Eisenberg, M. (2013). 3D printing for children: What to build next? *International Journal of Child-Computer Interaction*, 1(1), 7-13.

- Gartner. (2015). *Gartner's 2015 Hype Cycle for emerging technologies identifies the computing innovations that organizations should monitor*. 28 Kasım 2015 tarihinde <http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217> adresinden elde edildi.
- Gibson, I., Rosen, D. ve Stucker, B. (2010). *Additive manufacturing technologies*. New York, NY: Springer.
- Görme engelli çocuklar için 3D basılmış kabartma resim kitapları. (t.y.). <http://www.rigid3d.com/gorme-engelli-cocuklar-icin-3d-basilmis-kabartma-resim-kitaplari/> adresinden erişilmiştir.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V. ve Freeman, A. (2014). *NMC Horizon Report: 2014 Higher Education Edition*. Austin, TX: The New Media Consortium.
- Kostakis, V. ve Papachristou, M. (2014). Commons-based peer production and digital fabrication: The case of a RepRap-based, Lego-built 3D printing-milling machine. *Telematics and Informatics*, 31(3), 434–443. doi:10.1016/j.tele.2013.09.006
- Kostakis, V., Niaros, V., ve Giotitsas, C. (2015). Open source 3D printing as a means of learning: An educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and informatics*, 32(1), 118-128.
- Kroll, E. ve Artzi, D. (2011). Enhancing aerospace engineering students' learning with 3D printing wind-tunnel models. *Rapid Prototyping Journal*, 17(5), 393-402. doi:10.1108/13552541111156522
- Lehrer, R. ve Romberg, T. (1996). Exploring children's data modeling. *Cognition and Instruction*, 14(1), 69–108. 20 Kasım 2016 tarihinde <http://www.jstor.org/stable/3233689> adresinden elde edildi.
- Lipson, H. ve Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, Inc.
- Loy, J. (2014). eLearning and eMaking: 3D printing blurring the digital and the physical. *Education Sciences*, 4(1), 108-121.
- Mavromanolakis, G. (2015). Three dimensional printing technology in science and engineering education. A best-practice: Study, design and 3D print an operational model of a 2000 year-old computer. içinde Pixel (Ed.), *Proceedings of International Conference: Future of Education, 5th Edition*. (ss. 167-172). Floransa, İtalya.
- McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R. ve Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 479-486. doi:10.1002/ase.1475
- Melchels, F. P., Domingos, M. A., Klein, T. J., Malda, J., Bartolo, P. J., ve Hutmacher, D. W. (2011). Additive manufacturing of tissues and organs. *Progress in Polymer Science*, 1079-1104.
- Mesleki eğitimde dimension dönemi (2015). 19 Aralık 2015 tarihinde <http://www.infotron.com.tr/dimension/news-043.html> adresinden elde edildi.
- Olla, P. (2015). Opening Pandora's 3D printed box. *Technology and Society Magazine*, 34(3), 74-80.
- O'Neill, T. ve Williams, J. (2013). *3D printing*. Ann Arbor, MI: Cherry Lake Publishing.
- Ortaokul öğrencileri uprint kullanıyor (2015). 20 Aralık 2015 tarihinde <http://www.infotron.com.tr/dimension/news-068.html> adresinden elde edildi.
- Priyoid (2015). İTÜ, 3D yazıcı ile geliştirdikleri roketi fırlattı. 22 Aralık 2015 tarihinde <http://www.priyoid.com/haberler/itu-3d-yazici-ile-gelistirdikleri-roketi-firlatti/> adresinden elde edildi.
- Ravitz, J., Hixson, N., English, M. ve Mergendoller, J. (2012). Using project based learning to teach 21 st century skill Findings from a statewide initiative. içinde *Annual Meetings of the American Educational Research Association*. (ss. 1-9). Vancouver, BC.

- Rogers, E.M. (2003). *Diffusion of innovations* (5. baskı). New York, NY: The Free Press
- Sağlık sektöründeki yeni umut ışığı: 3D printer teknolojisi (2014). 23 Aralık 2015 tarihinde <http://www.printondemand.com.tr/saglik-sektorundeki-yeni-umut-isiği-3d-printer-teknolojisi/> adresinden elde edildi.
- Savery, J. R. (2015). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. içinde Andrew Walker, Heather Leary, C. Hmelo-Silver ve P. A. Ertmer (Eds.), *Essential Readings in Problem-Based Learning: Exploring and Extending the Legacy of Howard S. Barrows* (ss. 5-15). West Lafayette, IN: Purdue University Press.
- Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B., ve Pearce, J. M. (2015). Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom. *Journal of Visual Languages & Computing*, 28, 226-237.
- Segerman, H. (2012). 3D printing for mathematical visualisation. *The Mathematical Intelligencer*, 34(4), 56–62. doi:10.1007/s00283-012-9319-7.
- Sınıfta dimension 3D printer kullanmak yaratıcılığı tetikliyor (2015). 19 Aralık 2015 tarihinde <http://www.infotron.com.tr/dimension/news-045.html> adresinden erişilmiştir.
- Thornburg, D., Thornburg, N. ve Armstrong, S. (2014). *The invent to learn guide to 3D printing in the classroom: Recipes for success*. Illinois, IL: Constructing Modern Knowledge Press.
- TMMOB Makine Mühendisleri Odası (2015). *Ankara 3D printing etkinliği-Mühendislikte 3D yazıcı yöntemleri* http://www.mmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=43384 adresinden elde edildi.
- Verner, I. ve Merksamer, A. (2015). *Digital design and 3D printing in technology teacher education*. *Procedia CIRP*, 36, 182-186. doi:10.1016/j.procir.2015.08.041

Extended Abstract

Rapid developments and enhancements in technology bring about tools that enable use for new possibilities. 3D printing is one of such technologies, and even though it comes from rapid prototyping field, it constantly finds new areas of application. All recent technologies force individuals to make some decisions regarding adoption and future use. When individuals believe that a technology will increase efficiency by lowering physical and mental effort required by a task, they are more likely to show acceptance and use behaviors. As 3D printing technologies offer a great potential to improve productivity, they are spreading rapidly among individuals and institutions. Although the technology focuses on generating solid objects from a variety of materials (e.g.; plastic, play dough, and metal) based on digital models, its application covers 3D CAD (computer aided design) software, 3D printers, and filament (3D ink). 3D printing stems from additive manufacturing that is the layer by layer generation of a final product based on a digital model sliced by 3D printing software (Campbell, Williams, Ivanova, & Garrett, 2011). Through the application of additive manufacturing, 3D printer can create even overly complex CAD objects (Olla, 2015). Frequently being used in areas like medicine, architecture, and fine arts, 3D printing is bound to find a place in educational practice. However, educational applications of the technology to the date have remained rather limited. This might be due to the lack of knowledge and skills regarding 3D printing software and hardware of the practitioners and relatively high initial cost of the technology. Nonetheless, numerous educational initiatives are being undertaken to realize the potential 3D printing has to offer. Despite recent developments in the usability of 3D printers, individual-level use of the technology remains low. On the other hand, institutional applications are increasing in numbers. Studies regarding use trends predict that 3D printing at home will catch up with institutional use in the near future. According to Gartner's Hype Cycle, expectations regarding the individual acceptance of 3D printing remain at peak level, and within a five-to-ten-years span, it will reach the plateau of productivity (Gartner, 2015).

Being one of the technologies that stem from technological developments, and hold the potential to ease and improve our daily lives; 3D printing technologies, and 3D printers have applications in various fields thanks to their time and resource efficiency, easy backup opportunities, geometrical freedom, and ecological friendliness. In addition, 3D printers allow students and teachers to produce learning objects that differ in terms of color, shape, and size in a short amount of time. Despite limited applications to the date, 3D printing technology has many important affordances for education. Geometrical freedom is one of such affordances.

Applying additive manufacturing, 3D printers can easily create complex objects (Segerman, 2012). This allows practitioners to design concrete learning objects that aid the acquisition of abstract concepts (Campbell et.al., 2011). 3D printing technologies help learners in comprehending the relationships between virtual and physical objects and transfer their design ideas from computer screens to real life objects (Loy, 2004). Research studies have shown that 3D printing supported design activities contribute to the creativity and literacy development of learners (Kostakis, Niaros & Giotitsas, 2015). In addition, the rapid prototyping aspect of the technology allows learners to evaluate, fix and improve their designs in short amounts of time (Kostakis & Papachristou, 2014). Therefore, the time required to complete design, evaluation, and revision cycles within a project can be greatly reduced by the employment of 3D printers. Despite aforementioned advantages, 3D printing technologies have not reached a high number of adoption in the education world. This situation is partly due to lack of knowledge and skills regarding the use of 3D printing hardware and design software on the practitioner side. The literature provides studies offering solutions to this problem. However, many of such studies focus on the educational use of 3D printing software and hardware while failing to inform readers about how 3D printing technology can be supported with a thorough learning program (Brown, 2015). Another reason why 3D printing has not widely adopted in classrooms is the high cost associated with the technology. Considering the declining 3D printer prices, this issue will likely be resolved in the near future. Consequently, 3D printers will become common place in households to answer daily needs just like laser printers do (Berman, 2012; Eisenberg, 2013; Thornburg, Thornburg & Armstrong, 2014). There exist open-source 3D printing initiatives to reduce the cost of software and hardware, and provide hardware to schools, yet it is believed that practitioner training programs integrated with techno-pedagogical content knowledge and best practices would benefit the entire community of education.