



Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi

ISSN: 2587-2621

Volume 2 Issue 2, July 2018

ÜÇ BOYUTLU YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Comparative Analysis of 3D Printer Technologies

Kemal ŞAHİN*

B. Onur TURAN**

Öz: Sanayi devriminden sonra en büyük kırılma noktalarından biri olarak gösterilen üç boyutlu yazıcı teknolojisi, her geçen gün düşen maliyetleri ve gereksinimleri ile artık her eve girecek hal almıştır. Bu büyük dönüşüm, tüm üretim süreçlerinde köklü değişimler yarattığı gibi aynı zamanda birçok disiplini de etkilemiştir. Bu önemli dönüm noktasında, mevcut teknolojilerin sınıflandırılması ve karşılaştırılması ise karmaşık görülen bu kavramın daha net anlaşılmasını sağlayacak ve karar verme noktasında rehberlik niteliği taşıyacaktır.

Bu araştırma kapsamında hem 3 boyutlu yazıcılarda kullanılan tüm teknolojiler hem de üretim süreçleri ve ham maddeleri sınıflandırılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca Türkiye’de oluşmaya başlayan ve ilgi gören 3 boyutlu yazıcı teknolojileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu yazıcı, 3 boyutlu yazıcı teknolojileri, 3 boyutlu yazıcılarda üretim süreçleri, Türkiye’de 3 boyutlu yazıcı kullanımı.

Abstract: 3D print technology which is considered to be the most important milestone after the industrial revolution, has become very affordable due to decreasing costs and requirements both for professionals and home users. This major transformation affected many disciplines and provoked radical changes in production processes. Thus the classification and comparison of existing 3D printer technologies will provide a clear understanding of the concept and guidelines for the decision-making process.

In this research - 3D printers have been examined, classified and compared by considering the technologies, production processes as well as materials which are used in printing. Utilizing 3D printers and nascent interest in Turkey were investigated as well.

Keywords: 3D print technology, 3D printers, Fabrication with 3D printers , Utilizing 3D printers in Turkey .

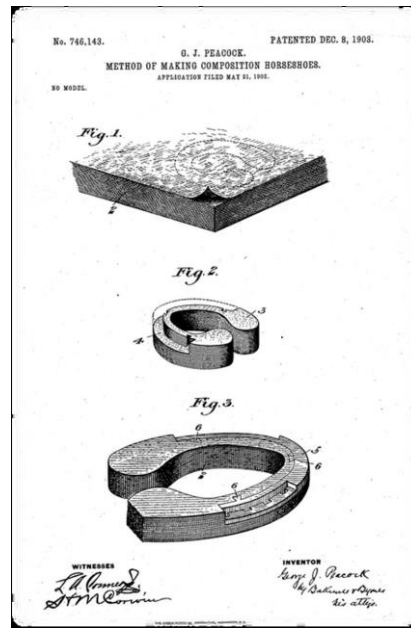
* Dr. Öğr. Üyesi., Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
kemalsahin@gmail.com 05326820717

** Dr. Öğr. Üyesi., Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Enformatik Bölümü
boturan@gmail.com 05327601285

1. Giriş

Üretim süreci teknolojinin gelişmesi ile daima bir devinim ve gelişim içerisindedir. Organizasyon maliyetlerini optimize etmek için de teknik ve teknolojik gelişmeleri takip etmek önem taşımaktadır. Hızlı prototipleme kavramı bu dönüşümün en büyük yansımalarına odaklanmakta ve üretim aşamasını doğru yapılandırma için büyük bir katkı sağlamaktadır. Teknolojik gelişmeler, hızlı prototiplemeyi oldukça kolaylaştırmış hatta Berman (2012) deyimi ile yeni bir endüstriyel devrim niteliğine gelmiştir.

A.B.D. başkanı Obama'nın Şubat 2013'te yaptığı konuşmasında üç boyutlu (3B) yazıcı teknolojilerini "hemen hemen her şeyin üretilme biçimini kökten değiştirebilecek potansiyele sahip" olarak tanımlaması ve konuyla ilgili bütçe ve istihdam yaratılması, önümüzdeki günlerde de bu teknolojilerin geliştirilmesinde önceliğin korunacağı anlamına gelmektedir. Böylece 3 Boyutlu yazıcı teknolojileri bir ülkenin gündem konusu haline gelmiş ve dünya çapında yaygınlaşmasını ivmelendirmiştir.



Şekil.1 Katmanlı üretim teknolojisiyle üretilen ilk patentli ürün¹.

3B yazıcılarda üretim eklemeli (additive) bir süreçtir. Katman kesitlerinin belirlenen çözünürlükte bir araya gelmesiyle oluşur. Bundan dolayı bu süreçten "katmanlı üretim" olarak da bahsedilir. Kavram olarak benzer tanımları olmasına rağmen "3 boyutlu yazdırma" daha bireysel, küçük ölçekteki amatör ruhla yapılmış işleri çağrıştırırken, "katmanlı üretim" daha profesyonel ölçekteki işleri çağrıştırmaktadır. Bununla beraber katmanlı üretim teknolojisi

¹ <http://www.google.com/patents/US746143>

asında yeni bir olgu değildir. Tarihçesine bakıldığında bu teknolojinin oldukça eskiye dayandığı görülmektedir ve alınan ilk patentlerden biri 1902 yılına tarihlenir.

Bu çalışmanın amacı 3B yazdırma teknolojilerinin donanım ve yazılım taraflarına bir bakış ile beraber, bu teknolojilerden beklentilerin neler olduğunun, şimdiye kadar ne kadarının karşılanabildiğinin ve Türkiye'deki güncel durumun taramasıdır.

Üç boyutlu yazıcıların yaygınlaşma sürecine bakıldığı zaman, kişisel bilgisayarların veya yazıcıların gelişme sürecine kıyasla farklılıklar görülmektedir. 3B yazıcılar, büyük hacimli kurumların inisiyatifinden ziyade, girişimci ve meraklı bireylerin kontrollünde gelişme göstermiş böylece büyük kitleler tarafından hem kullanılıp hem de geliştirilmektedir. Bu durum, teknolojiyi farklı amaçlar için farklı çözümler üretecek bir hale getirirken diğer taraftan da, birbirinden oldukça farklı teknik çözümler, farklı üretim biçimleri ve malzeme türlerini meydana getirmiştir. Bu da standartlaşmayı ve kullanım kolaylığı durumlarını zorlaştırmıştır. O nedenle, üç boyutlu yazıcılarda öncelik olarak kullanım amacı belirlemek büyük önem taşımaktadır. Amaca yönelik kullanım alanlarına aşağıda yer verilmiştir.

- Prototip ve kalıp oluşturma: Özellikle tasarım ve mühendislik alanlarında bir ürünün üretilmesi ve analiz edilmesi amaçlı olarak prototip veya kalıbının oluşturulması.
- Topografik katı modelleme: Yüzey şekillerinin fiziksel veriye dönüştürülmesi.
- Kitlesele bireyselleştirme: Ürünlerin kişileştirilmesi ve kişiye özgü olarak yeniden üretilmesi amaçlı kitlesele bireyselleştirilmesi (Mass customization).
- Medikal ve dental uygulamalar: Teşhise yardımcı olacak fiziksel modellerin hazırlanması, protez ve implant uygulamaları.
- Yedek parça üretimi: 3B yazıcıların kendi yedek parçaları da dahil olmak üzere, ürünlerin sürekliliğini sağlamak amacıyla ürün yedek parçalarının üretilmesi.

Amaç tanımlandıktan sonra ihtiyaca göre elde edilecek çıktının nitelikleri belirlenebilir. Teknik kısıtlamalar göz önüne alındığı zaman ölçekli model oluşturma, birebir bir baskı yerine tercih edilebilir. Burada teknolojinin henüz çözümlenemeyen bazı hususlardan dolayı sahip olduğu sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sınırlılıklar aşağıda aktarılmıştır.

- Malzeme, renk ve yüzey özellikleri açısından çeşitliliğin az olması,
- Üretilen ojelelerin sıcaklık, nem ve kırılma dayanımının az olması,
- Yazdırılacak ürün boyutu büyüdükçe maliyetin katlanarak artması,
- Diğer üretim/fabrikasyon tekniklerine göre daha düşük hassasiyet göstermesi,

olarak öne çıkmaktadır.

Üç boyutlu yazıcıların sahip olduğu avantajlar ise aşağıdaki gibidir.

- Tasarımın dijital veriden oluşması dolayısıyla kolayca aktarılabilir/paylaşılabilir olması.
- Değişiklik ve düzeltmelerin hızlı bir şekilde yapılabilir olması.
- Kişiselleştirilmiş ürünlerin kolaylıkla üretilebiliyor olması.
- Yatırım ve üretim açısından verimli olması
- Başlangıç yatırım maliyetinin göreceli olarak düşük olması.
- Ürün fiyatının üretimden önce hesaplanabiliyor olması.

- Dönüştürülebilir malzeme kullanılması.
- Malzemedен minimum fire verilmesi.

Bundan sonraki bölümde 3 boyutlu yazdırma teknolojilerinden bahsedilerek bu teknolojilerin teknik aksamından ve donanımsal yapısı analiz edilecektir.

2. Üç Boyutlu Yazdırma Teknolojileri

En basit haliyle üç boyutlu yazıcı, bilgisayar ortamında saklanan verinin fiziksel gerçek nesnelere dönüştürülmesini sağlayan cihazlardır. Bu teknoloji aynı zamanda, geleneksel imalat yöntemleri ile elde edilemeyecek geometrileri de üretebilmektedir. Geçmişine baktığımız zaman ilk örnekleri 80'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Son yıllarda ise hızlı prototipleme alanında fazla ilgi görmesi, pratik elde edilebilir bir forma kavuşması ile yaygınlaşmaya başlamıştır. 2006 yılında başlayan REPRAP (kendin yap, kendin geliştir) projesi sayesinde birçok sıradan kullanıcı, hobi sever ve kendin yap kültürüne sahip kişiler bu cihazları kullanmaya başlamıştır. Bu projenin başlangıcından 3 yıl gibi kısa bir süre sonrasında birçok şirket açık kaynak olarak üç boyutlu yazıcıları üretmek ve satmak için REPRAP projesine dahil olmaya başlamıştır².

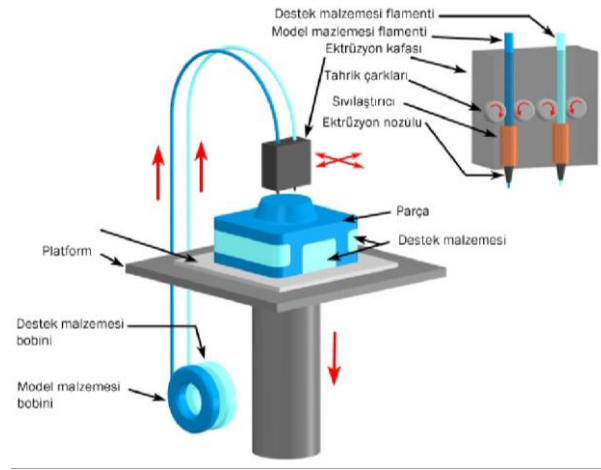
3 boyutlu üretim olarak da adlandırılan bu teknoloji, masaüstü imalat ya da eklemeli üretim (additive manufacturing) olarak da kabul gören üretim biçimidir. Bu yazıcılar, üretimi gerçekleştirebilmek için birçok farklı teknoloji kullanabilmektedirler. Teknolojiler arasındaki farklılıklar genellikle katmanların nasıl oluşturulduğu ile alakalıdır. Üç boyutlu yazıcıların kullandığı teknolojilerin çalışma prensipleri ve temel özellikleri detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

2.1 Birleştirmeli yığıma modeli – FDM (Fused Deposition Modelling)

En çok tercih edilen ve kabul gören modeldir. Birleştirmeli yığıma modeli olarak adlandırılan yöntem aslında bir baş bölümün üç eksen üzerinde yaptığı harekete göre geliştirilmiştir. Yatay eksenini temel alarak baş bölgenin üçüncü ekseninde yığıma yaparak modeli oluşturmasıdır. Baş bölüm ısı ile polimer malzemeleri eriterek şekillendirmeyi yapmaktadır. Bu işlem için en çok tercih edilen polimer malzemeleri Polilaktik Asit (PLA) ve Akrilonitril Butadin Stiren (ABS)'dir. Plastik malzemeler grubunda en yüksek malzeme mukavemetine bu teknoloji ile ulaşılmaktadır. FDM teknolojisinde sarkıt tipi havada asılı duran yapıların üretilmesi oldukça sıkıntılı olabilmektedir. Yapının açısı nedeni ile herhangi bir destek malzemesi kullanılmasına gerek olmasa da en alt katmanda malzemenin az olması nedeni ile, üzerine yığılan diğer katmanları taşıyamaması ve çarpılması söz konusudur³.

² Indiana Goshen *RepRap* <http://reprap.org/wiki/RepRap>. Son Erişim: Şubat 2014

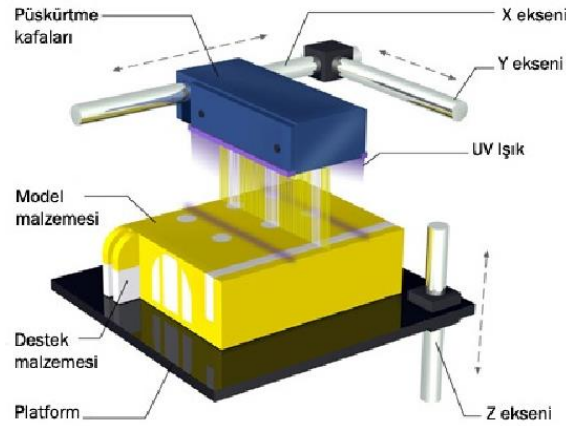
³ Hod Lipson, *Fabricated: The New World of 3D Printing*. New York: Wiley. 3.Bölüm. 2013



Şekil.2 Birleşirmeli yığma modeli çalışma diagramı

2.2 Poly Jet modeli (Eklemeli üretim – Additive modelling)

Poly jet teknolojisi, mürekkep püskürtmeli (inkjet) yazıcıların kullandığı yapıya benzetilebilir. Bu teknolojiye katman 16 mikron ve 0.1 mm oranında yumuşak yüzeyler elde edilebilir. Malzeme desteği daha geniş çapta ve karmaşık şekillerin üretimi konusunda daha elverişlidir. Çözünürlük oranı daha yüksek olduğu için üretilen ürün, prototipten çok ticari bir ürün gibi nitelendirilebilir.



Şekil 3 Poly Jet çalışma diagramı

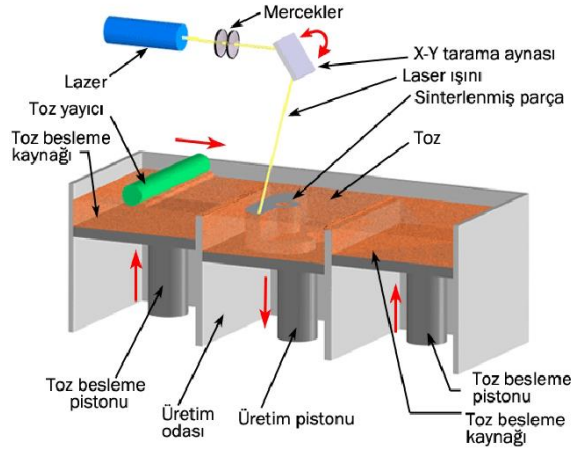
2.3 Seçici Lazer Sinterleme - SLS (Selective Laser Sintering)

1980'lerin ortalarında, Teksas Üniversitesi bünyesinde Joe Baeman tarafından geliştirilmiş bir teknolojidir. Üretim metodolojisi; toz metallere ısı ve basınç altında katı cisimlere dönüştürülmeye dayanılmaktadır. Sinterleme için farklı çözümler kullanılabilir. Lazer bunlardan biridir. Lazer ışını malzeme tozları üzerine, çok hızlı bir şekilde yansıtılarak katmanlar oluşturulur. Lazer ışını, lazer tarayıcı denilen bir parça vasıtasıyla insan gözünün algılamakta güçlük çekebileceği hızlarda, katmanları oluşturabilmektedir. Bu teknolojiye kullanılan lazer

gücüne bağlı olarak metal, plastik ve seramik olmak üzere neredeyse birçok farklı malzeme ve malzeme karışımlarını kullanılabilir. SLS teknolojisinde FDM den farklı olarak parçalar ham madde olarak kullanılan toz içine gömülü olarak üretilmektedir bu nedenle birçok modelde destek malzemesi kullanılmama ihtiyacı ortadan kalkmaktadır. Ancak FDM ile karşılaştırıldığında oldukça yavaş bir yöntemdir. Bunu sebebi ise her katman için düzgün bir toz yüzeyi serilmesi gerektirmesidir. Tozun düzgün serilebilmesi için serici kafa oldukça yavaş hareket etmektedir, bu durumda toplam üretim süresini arttırabilmektedir.

SLS teknolojisi bu endüstride en çok kafa karıştıran yöntemlerden biridir. Bunu sebebi birçok farklı şirketin bu yöntemi farklı isimlerle lanse etmesidir.

SLS teknolojisinin en büyük avantajı, kompleks geometrileri üretiminde yarattığı kolaylıktır. Destek yapısı gerektirmediği için ortaya çıkan model oldukça temiz ve son halidir. Bu nedenle, ön seri imalata olanak tanır.

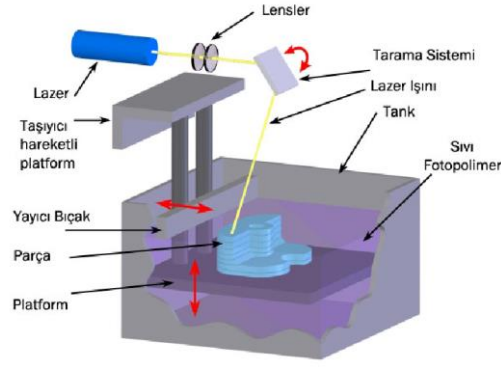


Şekil 4 Seçici lazer sinterleme çalışma diagramı

Her ne kadar ilk olarak bahsedilen üç teknoloji kadar yaygın olmasalar bile üç boyutlu yazıcılar için geliştirilen başka teknolojiler de vardır. Kurulum maliyeti ve sahip olma bedelinin yüksek olmasından ötürü daha az tercih edilmekte olan bu tekniklerden bazıları aşağıda özellikleriyle birlikte sıralanmıştır.

2.4. Tarayarak Işıklı Kürleme Tekniği-SLA (Stereo Lithography Apparatus)

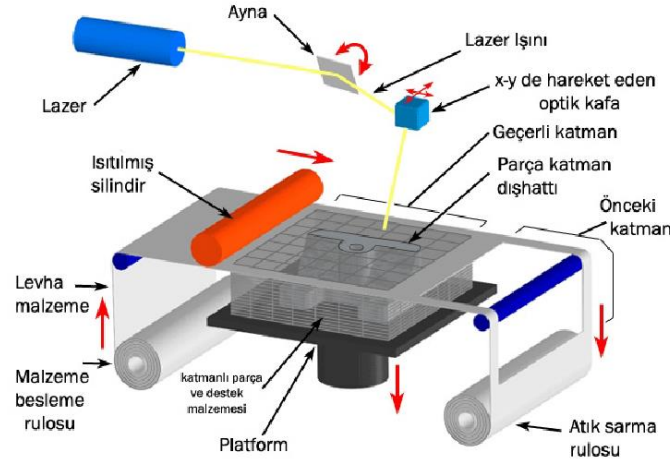
Bu yöntem yüksek doğrulukta ve detayda üretim olanağı sağlamaktadır. Çıktı olarak yüzeyi düzgün polimer parçaları elde edilebilir. Bu alanda öncü çalışmalar yapan, SLS teknolojisinin de geliştirme haklarına sahip "3D Systems" şirketi tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Yöntemin en büyük avantajı çok farklı türlerde malzemelerle üretim seçenekleri sunmasıdır. O nedenle, taşımacılıktan, rekreasyon, sağlık ve tüketim mallarına kadar farklı alanlarda üretim imkânı tanımaktadır.



Şekil 5 SLA çalışma diagramı

2.5. Tabakalı Yapıştırırmalı Parça İmalatı (LOM, Laminated Object Manufacturing)

Çevre dostu bir teknoloji olan LOM, aynı zamanda hızlı üretim içinde olanak sağlamaktadır. Bu teknoloji içerisinde, kaplanmış kâğıt, plastik köpük kullanılabileceği gibi seramik veya metal tozu emdirilmiş malzemeler de kullanılabilmektedir. Geri dönüşüm malzemeleri ile de üretime olanak sağlamaktadır. Tasarım ve parametrelerin doğru seçilmesiyle, her boyutta yüksek hassasiyete sahip yapısal ve işlevsel modeller de üretilebilmektedir.

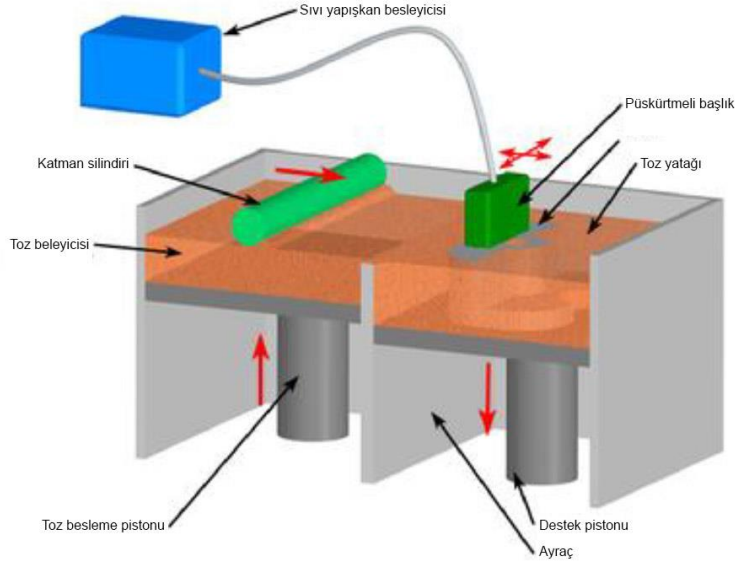


Şekil 6 LOM Çalışma diagramı

2.6. Bağlayıcı püskürtme tekniği (Binder Jet)

Z Corporation tarafından geliştirilen ve patentli bir teknik olan bağlayıcı püskürtme temel olarak bakıldığı zaman mürekkep püskürtmeli yazıcılar gibi çalışmaktadır. Bu teknikte toz yatağı boyunca bir sıvı bağlayıcı madde biriktirilerek model elde edilir. Toz her yeni tabakanın

oluşturulması için bir silindir ile yayılır. Bu tabakaların birikmesi ile model meydana gelirken destek malzemeleri direk modelden hızlı bir şekilde ayrıştırılabilir⁴.



Şekil 7 Binder Jet Çalışma diagramı

İncelenen üç boyutlu yazıcı teknolojileri, çalışma esası, malzeme kalınlığı, çözünürlük gibi kriterlere göre aşağıdaki tablo içerisinde karşılaştırılmıştır.

⁴ Z Corporation, 3D Printing Technology, White Paper Report, 2005

Yöntem	Çalışma Esası	Kullandığı Malzeme	Ön İşlemler	Son İşlemler	Çözünürlük	Mukavemet	Pürüzlülüğü	Açıklama
FDM	Birleştirmeli yığılma tekniği	ABS, PLA	Tabaka destek Oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	Orta	İyi	Orta	Ofis ortamında kullanılabilir. Çok parçadan oluşan, hareketli fonksiyonel, elastik modeller üretmek için uygundur. Parçalar suya ve neme dayanıklı, üretim maliyeti düşük, hızlı. Küçük parçalarda, detay bölgelerde ve ince kesitlerde çok iyi değil.
PolyJet	Fotopolimer püskürtme ve UV ile katılaştırma	Akrilik	Tabaka destek Oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	İyi	Zayıf	İyi	Kullanımı kolay, hızı yüksek, kalite yüksek, ofis/ev ortamına uygun.
SLS	Tozun CO2 lazer ile sinterlenmesi	Poliamid, polistren, karbon fiber ve alüminyum katkı poliamid, polikarbonat, paslanmaz		Tozun uzaklaştırılması ve soğuma için bekleme süresi	Zayıf	İyi	Zayıf	Geniş malzeme desteği, malzeme değişimi zor, Prototip üretimde düşük maliyet

		çelik,kobalt, seramik						
SLA	Fotopolimer malzemenin UV ışını ile katılaştırma	Reçine bazlı malzemeler, akrilik, epoksi, polipropilen	Tabaka, Destek oluşturma	Desteğin uzaklaştırılması	İyi	Orta	İyi	Yüksek doğrulukta parça üretimi için tercih edilir. Renklendirme yapılabilir. Yaygın kullanılır. Parçalarda çarpılma ve büzülme olabilir.
LOM	Tabakaların lazerle kesilip yapıştırılması	Kâğıt, plastik köpük, metal ve seramik tozu emdirilmiş malzemeler			Orta	Orta	Orta	Büyük hacimli parçalar yüksek hızda üretilebilir. Parçaların mekanik özellikleri iyi değildir.
Binder jet	Toz ile dolu tabakaların yapışkan sıvıyla doldurulması	Plastik toz	Toz ile dolu bir yüzey	Destek için kullanılan tozlardan ayırıştırma	Orta	Orta	İyi	Detaylı parçaların üretiminde kullanılabilir.

Tablo 1 Üç boyutlu yazıcıların karşılaştırması

3. Üç Boyutlu Yazılarda Üretim Süreci

3.1 Modelleme

Öncelikle, işi yarabileceği düşünülen veya estetik olarak beğenilen obje bilgisayar ortamında 3 boyutlu model olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu ihtiyaca yanıt vermek için

kullanılabilecek bazı yazılımlar; AutoCAD, SolidWorks, Google Sketchup ve Rhino3D'dur. İnternet üzerinde 3D model depolarından da üretilmek istenilen objenin benzer veya aynı sayısal modeli bulunabilmektedir. Bu model üzerinde bazı hususlara dikkat etmek gerekmektedir. İlk olarak modeldeki et(duvar) kalınlığının sıfır olmaması ve mümkünse de bir milimetre ve daha fazla olması modelin üretim ihtimalini artırmaktadır. Diğer bir deyişle, 3D yazıcı kullanarak folyo üretmek günümüz olanakları ile mümkün değildir. Diğer bir hususta, bilgisayar destekli tasarım (Computer aided design - CAD) verisinde kesişen köşeler bulunmamalıdır. Parçalar ya ayrı olmalı veya birbirini üzerinde köşe oluşturmayacak şekilde bir arada durmalıdır. Model üzerinde hiçbir alanda açık yüzeyin olmaması da önemli bir noktadır. Model kapalı bir hacme sahip olmalıdır. Bu hususlar doğrultusunda model bilgisayar ortamında hazırlandıktan sonra STL dosyası olarak dışarı (exporting) aktarılmalıdır.

Masaüstü yazılımlara ek olarak bulut bilişim teknolojileri altyapısı ile çalışan web tabanlı yazılımlarda mevcuttur. Bu tip yazılımlar, diğer modelleme yazılımlarına kıyasla daha fazla üç boyutlu yazıcılar için daha fazla özelleştirilmiştir. En çok tercih edilen web tabanlı tasarım yazılımlardan biri olan Tinkercad (www.tinkercad.com) sayesinde 3 boyutlu yazıcılar için tüm gereksinimleri barındıran özel modellemeler yapabilmek mümkündür.

3 boyutlu yazıcılar için özel olarak hazırlanmış hatta çeşitli baskılar alınarak kullanılmış hazır modeller de mevcuttur. Bu tip modeller, internet üzerinden hazır model ve STL paylaşım platformlarında bulunabilmektedir. Farklı lokasyonlardaki tasarımcıların hazırladığı modellerin yüklendiği bu platformlar sayesinde, hiçbir modelleme bilgisi olmayan kullanıcılar da kendi istediklerini objeleri üretebilmektedir. Bu tip platformlara örnek olarak Thingiverse (www.thingiverse.com) verilebilir. Shapeshifter (www.shapeshifter.io) gibi temel formlardan hareket ile farklı niteliklerde formlar düzenleyebileceğiniz özel uygulamalarda mevcuttur. Bu uygulamalar geniş bir model havuzu sunmasının yanı sıra, objelerin özelleştirebilmesine olanak sağlamaktadır.

Model havuzu yapısını ticari bir platforma dönüştüren dijital projelerde mevcuttur. Bu projeler ücretsiz model havuzu sunmanın yanı sıra, tasarımcıların 3 boyutlu yazıcılar için uygun özel modellerini satabilmelerine de olanak sağlamaktadır. Model havuzu konusunda bir Pazar yeri niteliği taşıyan Shapeways (www.shapeways.com) örnek olarak verilebilir. Shapeways'de ayrıca, konuyla ilgili nitelikli ve kapsamlı içeriklerde bulmak mümkündür.

4. Dilimleme

Dilimleme işleminde model yani CAD verisi 3D yazıcının anlayacağı bir dile, G koduna çevrilmektedir. Diğer bir deyişle, STL dosyasındaki model, dilimleme yazılımı ile katmanlara ayrılmaktadır. Bu katmanlar plastik eritme, laser sinterleme, sterolitografi gibi farklı yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu aşama kaliteli ürünler üretebilmenin en önemli adımıdır. 3D yazıcı ile üretim sırasında gerekli olan birçok parametre bu aşamada belirlenmektedir. Bu parametrelerden en önemlileri aşağıda belirtilmiştir.

- **Katman Kalınlığı:** Parçanın Z yönündeki hassasiyeti belirleyen parametredir. Genellikle 0.25mm düzeyindedir. 0.1mm ye kadar düşürülebilir.
- **Dolgu Deseni:** Bu parametre parçanın iç dolgu katmanlarındaki geometriyi belirlemektedir.
- **Dolgu miktarı:** 3D yazıcının en önemli özelliklerinden biri parçanın iç hacmini doldurma ihtiyacı olmadan üretim yapabilmesidir. Sağlam ve dayanıklı bir ürün

isteniyorsa %100 dolu üretim yapılabilir. Sadece görsel amaçlı bir üretim yapıyorsa %20 doluluk oranı da yeterli olmaktadır.

- **Hız ve Sıcaklık:** 3D yazıcının en kritik parametreleridir. Püskürtücünün (nozzle) hangi sıcaklığa kadar ısıtılacağı ve ne kadar hızlı hareket edeceği bu parametreler ile belirlenmektedir. Genellikle malzemeye ve üretilecek parça geometrisine bağlı olarak farklılık gösterebilir.

En çok tercih edilen dilimleme yazılımları ise Skeinforge ve Kisslicer'dır.

5. Baskı ve Üretim

3D yazıcı ile ürün bu aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşama dilimleme işleminde belirlenen parametrelere de bağlı olarak çok uzun veya çok kısa sürebilir. Tam dolu ve katman kalınlığı 0.1mm olan bir parça oldukça uzun zaman alabilirken, katman kalınlığı 0.3mm ve %20 dolu bir parça yaklaşık 10 kat daha kısa zaman alabilmektedir.

6. Baskı Sonrası İşlemler

Son aşamada parçanın boyama, zımparalama ya da aseton kullanarak daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olması sağlanmaktadır.

7. 3 Boyutlu Yazdırma Teknolojilerine Etki Eden Faktörler

7.1. Yazılım

3B yazıcılarda kullanılan yazılımlar üç ana grubu ayrılabilir. Birinci grup yazılımlar tasarım yazılımları iken diğer gruptaki yazılımlar üretimin dilimleme aşamasında kullanılan tamir ve aracı yazılımlardır. Tasarım Yazılımları: Tasarım yazılımları modelin bilgisayar ortamında hazırlanması için gerekli olan tüm araçları bünyesinde barındırır. Operatör bu araçları kullanarak istenilen objenin tüm ayrıntıları ile beraber çizebilir veya hazır bir model üzerinden özelleştirilebilir.

Tamir Yazılımları: Tasarımı tamamlanan üç boyutlu modellerin üretilmesi için birtakım özellikler taşıması gerekmektedir. Prototip sistemlerinin kabul ettiği ortak veri formatı olan STL modellerde, et kalınlığı verilmemiş yüzeyler düzeltilmemiş (trim) ya da tekrar eden çizgiler, kapatılmamış açıklıklar prototip üretimine engel teşkil eden hatalardır. Bu tip problemlerin üstesinden gelebilmek için özelleştirilmiş tamir yazılımları bulunmaktadır. Tamir yazılımları ufak rötuş ve doğrulama işlemleri için kullanılabilir. Model karmaşıklıklaştıkça tamir yazılımlarının müdahale yeteneği azalmaktadır. O nedenle bazı düzeltmeler ve iyileştirmeler için tasarım yazılımları ile tekrar müdahale etmek gerekebilir. Tamir yazılımlarına örnek olarak "Meshlab" ve "Netfabb" verilebilir. Netfabb (www.netfabb.com) yazılımının profesyonel kullanıma yönelik özel ticari sürümleri de mevcutken Meshlab (meshlab.sourceforge.net) tamamen açık kaynak kodlu bir yazılımdır.

Aşağıda bir STL çiziminde kritik olabilecek unsurların bir listesi vardır. Eğer model, bu unsurları yerine getirebiliyorsa büyük olasılıkla 3 boyutlu yazıcıdan yazdırılabilir demektir.

- Üçgen sayısı 1.000.000'un altında olmalıdır.
- Sıfır delik (yüzeyde delik olmamalıdır.)
- Sıfır kenar hatası (üst üste binmiş kenarlar)
- Sıfır geçersiz oryantasyon (Normaller doğru yönde olmalıdır.)
- En küçük ebat 0,2cm x 0,2cm x 0,2cm olacak.
- En büyük ebat 49cm x 39cm x 20cm olacak (Bizde bu ölçü 12cm x 12cm x 12cm ,olsa da eklemeli model yaparak maksimum ebat sınırının olmadığını belirtmek gerekmektedir.)
- Hacim değeri pozitif olmalıdır.
- Yüzey su geçirmez olmalıdır. (Tamamen kapalı yüzey)
- Düzgün yönlendirilmiş yüzey olmalıdır.

Aracı Yazılımlar: Yazıcılar için özel olarak geliştirilmiş ve yazdırılmadan önce son ayarlamaların yapıldığı yazılımlardır. Bu yazılımlarda modele müdahale etmekten yazdırılma süresi ve boyutlandırması için optimizasyon ayarlamaları yapılmaktadır. Yazıcının ne kadar detaylı yazacağı, katman kalınlığı, dolum miktarı gibi yazıcı özelindeki teknik seçenekler arasında tercihler yapılmaktadır. Makerbot yazıcılar için özel olarak hazırlanmış “Makerware” ve Ultimaker yazıcılar için özel olarak hazırlanmış “Cura” bu alandaki yazılımlara örnek verilebilir⁵.

8. Malzeme

Bir 3D Yazıcı yaparken ya da satın almadan önce belki de en çok dikkat edilmesi gereken özelliklerden biri kullanılacak olan malzemenin seçilmesidir. Piyasada ve kendin yap dünyasında bulunan yazıcılar ABS, PLA ya da her ikisi ile çalışmaktadır. Bu nedenle özellikle bu iki malzemeyi ve kullanım alanlarını anlamak, 3D Yazıcı teknolojisinin temellerindedir.

⁵ Christopher Barnatt, 3D Printing: TheNextIndustrialRevolution. ABD: Create Space Independent Publishing Platform. 110 – 120, 2013

ABS (Akrilonitril Butadin Stiren): ABS, plastik enjeksiyon sektöründe de oldukça sık kullanılan hafif ama sert bir termoplastik polimerdir. Popüler bir örnek vermek gerekirse Lego parçaları bu malzemeden yapılmaktadır. Bir petrol ürünü olan ABS aseton ile çözülebilmektedir. ABS kullanarak yazdırılan ürünler 20 ile 80 °C arasında kullanılabilir. Erime başlangıç sıcaklığı 105 derece olması nedeniyle 80 derece üzerinde yumuşama ve şekil bozulması yaşayabilir. ABS malzemesi yoğun güneş ışınlarına maruz kalırsa hasar görebilir bu nedenle ciddi bir şekilde güneş altında kalacak ürünlerde parçayı boyamak iyi bir çözümdür.



Şekil 8 ABS filament. ABS malzemesiyle üretilen bir dişli makara

ABS yüksek mukavemet ve darbe direnci nedeniyle tercih edilen bir üründür. Örneğin bir Lego parçasını elle kırmak oldukça zordur.

ABS'nin negatif özelliği ise yüksek sıcaklığa maruz kaldığında HCN gazı çıkarmasıdır. Bu gaz az miktarda salınsa da oldukça zehirli bir gazdır. Hatta ikinci dünya savaşı sırasında gaz odalarında bu gaz kullanılmıştır. Bu nedenle 3B Yazıcılar ile ABS kullanırken ortamı havalandırmakta fayda vardır. Katı halde ürün olarak herhangi bir zararı bulunmazken 230-250 derecede 3B Yazıcı ile eritilirken HCN gazı açığa çıkabilmektedir. Bir diğer negatif özelliği ise 3B yazıcıda kullanım sırasında daha yüksek sıcaklık gerektirmesi nedeni ile daha zorlu bir kalibrasyon işlemi gerektirmesidir. Yani ABS ile güzel bir parça üretmek PLA'dan daha zordur. Gene yüksek sıcaklıkta işlem görmesi nedeniyle işlem sırasında büyük parçalarda çarpılma riski oldukça fazladır. Çarpılmayı engellemek için ısıtıcı yazma platformu kullanılması gerekmektedir.

PLA (Polilaktik Asit): Geri dönüşümü olan kaynaklardan üretilen polilaktik asit yani PLA, ön plana çıkan bir 3B yazıcı malzemesidir. Geri dönüştürülebilme özelliğinden dolayı çevre dostu olmakla beraber, insan vücudu içinde parçalanma süresi 6 ay ile 2 yıl arasında olması bakımında medikal ve dental uygulamalarda da kullanılmaktadır.

PLA'nın başka önemli bir avantajı ise farklı bileşenler ile karıştırılarak ahşap, alçı benzeri görünümlü ürünler elde edilebilmektedir.



Şekil 9 PLA filamenti. PLA malzemesiyle üretilen bir vazo (sağda)

PLA malzemesinin dezavantajı ise ABS den daha düşük mukavemete sahip olmasıdır. Yani 3B yazıcısı ile yük taşıyacak ya da darbe alması muhtemel bir parça üretmek isteniyorsa bu noktada PLA doğru seçim olmayabilir. PLA'nın ısı altındaki dayanımı da ABS'ye oranla kötüdür. Bundan dolayı 3B yazıcı üreticileri kendi hazırladıkları kullanım kılavuzlarında malzeme eritme sıcaklığının 50 °C üzerine çıktığında istenilen sonuçlar elde edilemeyeceği belirtilmektedir. Ancak üretim sırasında erime sıcaklık aralığının ABS'ye oranla daha geniş olması çarpılma ihtimalini azaltmaktadır. Bununla beraber malzemenin yavaş sertleşmesi nedeni ile yazım hızı arttırıldığında kötü sonuçlar ortaya çıkabilmektedir⁶. Üretilmekte olan ürün, bir fan yardımı ile soğutulur ise yazım hızını arttırabilmek mümkün olabilir.

Eğer bir ürün dış mekânda kullanılacak veya sergilenecek ise PLA yerine ABS malzeme kullanmak ısıya karşı dayanım, ışık geçirgenliği gibi sebeplerden dolayı daha iyi sonuçlar vermektedir.

Naylon: Hem güçlü hem de sağlam yapısıyla naylon malzemeler ile orta-yüksek seviyede detaylar oluşturulabilmektedir. Lazer sinterleme (SelectiveLayerLaserSintering) metodu ile kullanılarak çeşitli üretim gerçekleştirilebilir.



Şekil 10 Naylon malzemesiyle üretilmiş renkli figür.

⁶ MakerBot Guides, <http://www.makerbot.com/support/guides/pla/>. Son Erişim: Mayıs 2014

Diğer Malzemeler: Bu malzemelerin yanı sıra çeşitli metal malzemeler, seramik, polimer esaslı malzemeler, kağıt, tuz ve reçine gibi malzemelerde 3B yazıcılarda kullanılabilir. DNA sarmalı gibi bir yapı için reçine malzemesi tercih edilirken, "cement polimer" fiber ile güçlendirilerek standart bir çimentodan çok daha dayanıklı üretime olanak sağlamaktadır. Malzeme olarak tuzun kullanıldığı ilk çalışmalar Mimar Mark Kelly tarafından gerçekleştirilmiştir. Tuz; yarı saydam, beyaz ve hızlı kuruyan yapısı ile Kelly'in çalışmalarına ilham vermiştir. Ayrıca bu malzeme mimarların kavramsal tasarımlarını üretime dönüştürmesi için de olanak sağlamıştır⁷.



Şekil 11 Ahşap (laywood) filament ile üretilmiş bir baykuş figürü.

9. 3 Boyutlu Yazıcı Pazarı ve Türkiye

Ev tipi olarak nitelendiren 3 boyutlu yazıcı tipleri farklı modellerde ve niteliklerde üretilmeye başlamıştır⁸. Bu konuda önemli Pazar araştırmaları ve sektörel analizler gerçekleştiren ReportsnReports'un yayınladığı çalışmalarda pazarın giderek büyüdüğü bu konuda oluşan talebin yükseldiğini belirtmektedir. Idtechex'de yaptığı araştırmalar ve belirttiği gelecek öngörülerini, gerek 3B yazıcıların gerekse katkı maddelerinin satış hacimleri değerlendirilmiştir. Dünya çapında yapılan bir araştırmada 2017 projeksiyonu çıkarılmıştır⁹.

Aynı projeksiyon üzerinde, 3 boyutlu baskı teknolojileri ile çalışan şirketlerin büyüme oranları da artmaktadır. 2017 yılına kadar her yıl için %20 büyüme ile yılda yaklaşık 5 milyar dolar öngörülmektedir. Bu pazarda yeni teknolojilerin eklenmesi ve katkı malzemelerin fiyatlarındaki azalma pazar oranını yükseltecektir. Bu şekilde devam ederse 3B yazıcı pazarının 2017 yılında 5 milyar dolar olacağı tahmin edilmiştir. Geliştirilen yeniliklerin büyük üreticiler üzerinde baskı yaratacağı yeni bir dönem oluşmaktadır. Bu baskının çoğunlukla üretim tasarımı ve prototipleme

⁷ Rael San Fratello, *Materials*. www.emergingobjects.com. Son Erişim: Şubat 2014

⁸ ReportsnReports, <http://www.azom.com/news.aspx?newsID=40129>. Son Erişim: Ocak 2014

⁹ Wendy Kneissl, 3D Printing 2014-2025: Technologies, Markets, Players. ABD: IDTechEx. 4 bölüm. 2013

alanında olacağı düşünülmektedir. 3B baskı hızlarının artmasını sağlayacak teknolojik yeniliklerin doğrudan üretimi artıracak bir unsur olarak görülmektedir.

Diğer taraftan tüketici baskılarının da arttığını belirten raporda masaüstü 3B Yazıcıların fiyatlarının azalması ile tüketicilerin, küçük işletmelerin, ev matbaacılarının satın alma eğiliminin artacağı öngörülmektedir.

3B baskı ile üretimini önümüzdeki yıllarda artarak devam edeceği kullanım oranının düşük olduğu ülkelerde ve bölgelerde pazar payında ciddi artışlar gözleneceği beklenmektedir. Yıllık büyümenin en %20'lerde gerçekleşeceği düşünülen ve pazar payının her geçen gün artacak ve geleceğin üretimi olacaktır.

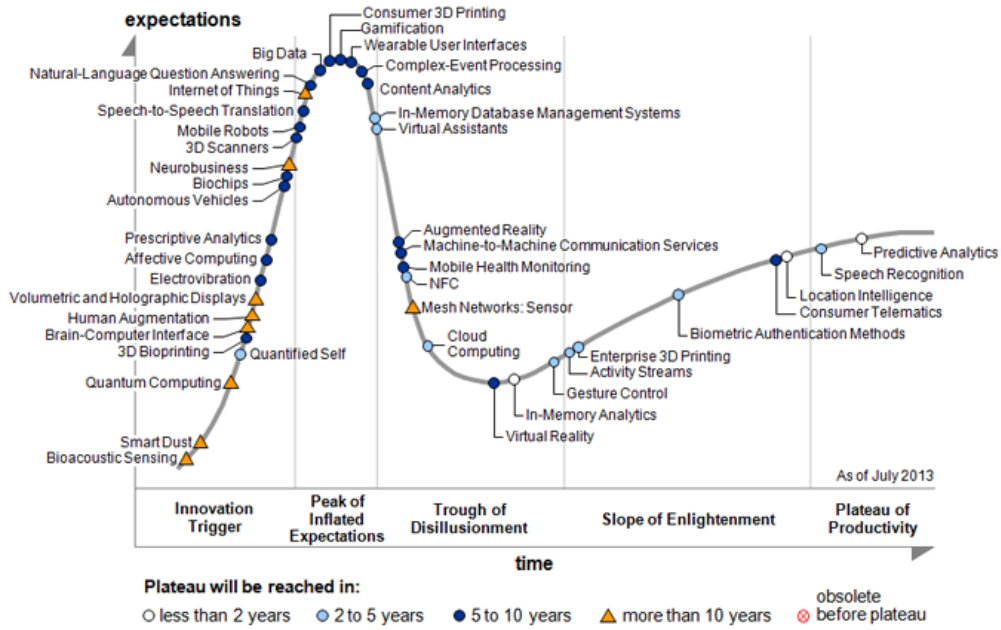
Bu rapor öyle gösteriyor ki pazar payı hızla büyüyen bu teknolojinin yan ürünleri ile ilgili de önemli gelişmeler olacaktır. Bununla birlikte bu teknolojiyi sanayi kullanıcılarının yanı sıra ev tipi, masa üstü yazıcılar olarak kullanılabilmesi için yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ham madde birim fiyatlarının, masa üstü tipi yazıcıların daha geniş kitlelere uygun fiyatlarla sunulmasının sağlanması pazar payında bahsi geçen ilerleme oranını artıracaklarını göstermektedir.

Türkiye'de yaygınlaşmaya başlayan bu teknoloji kullanımının, üretim yatırımları ile daha uygun fiyatlara düşürülmesi öngörülmektedir. Teknoloji transferi ve üretimi önemli olduğu kadar, teknolojinin kendisinin de geliştirilmesi ve üretilmesi 3D Yazıcılarının kullanımının yanında teknik destek, servis ve bakım maliyetlerine de etkili bir katkı sağlayacaktır.

Cihazların tedariki ve Türkiye'de resmi olarak satışı için bir firmanın çalışma gerçekleştirdiği görülmektedir. Bazı firmalar sadece çevrimiçi ortamda 3B yazıcı satışı gerçekleştirirken bazı firmalar bu konuda özelleşmiş konsept mağazalar açarak konuya olan ilgiyi değerlendirme gayretindedir. Bu tip firmalara örnek olarak 3bfab (www.3bfab.com) ve 3Dörtgen (www.3dortgen.com) verilebilir. Yazıcıların üretim gücüne yönelik çeşitli girişimlerde bulunmaktadır. Bu girişimler sayesinde, kullanıcılar çevrimiçi ortam üzerinden üretiminin yapılmasını istediklerini modellerin sayısal formattaki halini yollayıp 3 boyutlu yazıcıdan üretim yaptırabilmektedir. Bu iş sürecini en iyi sayısal ortama aktaran örneklerden biri Formhane adlı projedir (www.formhane.com.tr).

10. Sonuç

Üç boyutlu yazıcılar ve yazıcı teknolojileri, kişiye ve duruma özel hızlı üretim yapabilme olanağı ve bütün bunları dünyanın her yerine anında gönderilebilir veriler üzerinden yapması dolayısıyla yeni endüstriyel devrim olarak nitelendirilmiş ve bu özelde değerlendirilerek yüksek beklentiler doğurmuştur. Hatta bütün yeni teknolojiler düşünüldüğünde, önümüzdeki 5-10 yıl içerisinde en büyük atılımı yapacak teknolojilerinin, tüketici bazındaki 3B yazıcı teknolojilerini olacağı düşünülmektedir.



Şekil 12 Temmuz 2013 yılı itibarıyla yeni teknolojilerden beklentiler.

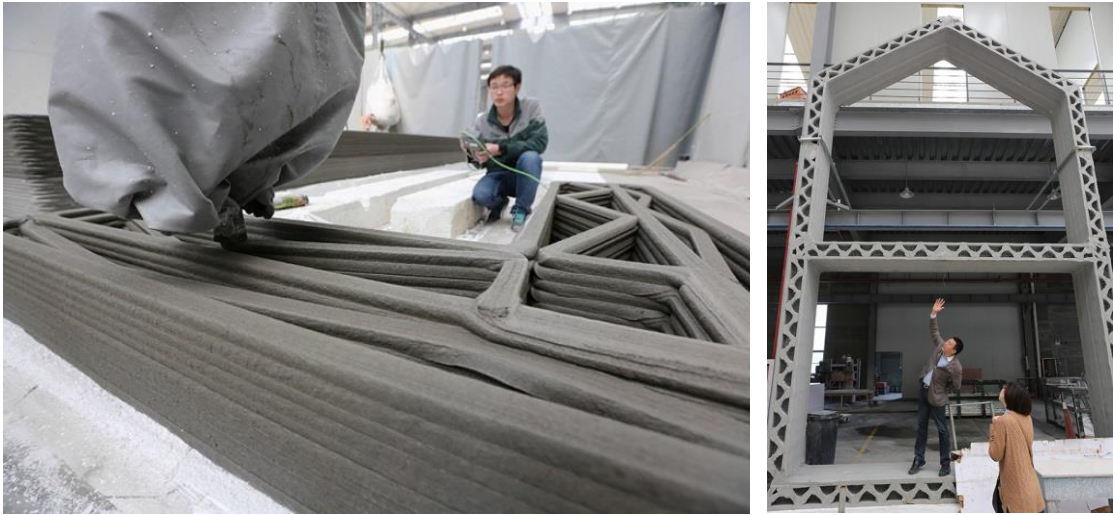
Üç boyutlu yazıcı ve yazıcı teknolojilerinin bütün beklentilere cevap verip veremeyeceği halen tartışma konusu olmakla beraber, her gün yeni komünitelerin kurulması ve Hewlett Packard gibi yazıcı endüstrisinin en önemli aktörlerinden birinin de bu markete dahil olması, önümüzdeki günlerde birçok kullanıcının evinde ya da ofisinde katmanlı teknolojilerle sahip olabileceğinin göstergesi olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 13 HP Designjet 3D Color Printer

Üç boyutlu yazıcıların ucuzlayacağı ve daha verimli olacağı aşikardır. “Kickstarter” (www.kickstarter.com) gibi sitelerde her gün yeni, fonksiyonel ve uygun fiyatlı üç boyutlu yazıcı projelerinin ortaya çıktığını görmek mümkündür.

Önümüzdeki 5-10 sene içerisinde hem tasarım hem üretim açısından pazarın ve tedarik zincirinin daha da büyüyeceğini tahmin etmek zor değildir. Bu zaman zarfında bio-medikal ürünlerden, moda ve tekstil ürünlerine, roket ve silah üretiminden, yemek üretimine, deri ve metalden, inşaat ürünlerine ve hatta bir ay üssü projesine kadar birçok ürünün üç boyutlu teknolojilerle üretilebileceği ön görülmektedir. Bunun örneklerini şimdiden görmek mümkündür. Yakın zamanda Winsun New Materials isimli Çin firması üç boyutlu katmanlı üretim teknolojilerini çimento-cam yünü karışımli bir -deyim yerindeyse- ham madde (flament) kullanarak 24 saat içerisinde 10 adet ev üretmiştir.



Şekil 14 Üç boyutlu katmanlı teknolojiler ile çimento-cam yünü bazlı malzemeden yapı üretimi örneği

CAD-CAM yazılımları, malzeme çeşitliliği ve kalitesi hem ticari hem de ev kullanıcısı için fiyat, kullanılabilirlik ve güvenilirlik açısından uygun alternatifler arttıkça bu teknolojiler ev ve ofisler için belki de vazgeçilmez olabilecek potansiyele sahiptir. Birçok kullanıcı için tek yapılması gereken sayısal veriyi internet ağı üzerinden indirerek yazıcıya göndermek ve ürünü elde etmek olacaktır. Bütün bunlar değerlendirildiğin 3b yazıcılar ve katmalı üretim teknolojileri nice yeniliklere açık gözükmemektedir.

Kaynakça

- RAEL SAN FRATELLO. Materials. www.emergingobjects.com. Son Erişim: Şubat 2014.
- Goshen, Indiana, ABD. *RepRap*<http://reprap.org/wiki/RepRap>. Son Erişim: Şubat 2014
- ReportsnReports, ABD. <http://www.azom.com/news.aspx?newsID=40129>. Son Erişim: Ocak 2014
- HodLipson. Fabricated: The New World of 3D Printing. New York: Wiley. 3.Bölüm., 2013
- Wendy Kneissl. 3D Printing 2014-2025: Technologies, Markets, Players. ABD: IDTechEx. 4 bölüm., 2013
- Christopher Barnatt. 3D Printing: TheNextIndustrialRevolution. ABD: Create Space Independent Publishing Platform. 110 - 120. 2013
- Z Corporation 3D Printing Technology, White Paper Report, 2005
- MakerBot Guides. <http://www.makerbot.com/support/guides/pla/>. Son Erişim: Mayıs 2014