

3D BASKI İLE HIZLI PROTOTİP VE SON ÜRÜN ÜRETİMİ

Fevzi Yılmaz Metalurji Mühendisi
M. Esad Arar Metalurji Mühendisi
Ebubekir Koç Metalurji Mühendisi

1. GİRİŞ

3D Baskı; bir yazıcı (Printer) kullanılarak bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları yardımıyla tasarlanmış herhangi bir elektronik veriyi kalıp, model vb. araç gereç ihtiyacı duymadan 3D verisinin makineye gönderilerek kat kat malzeme ekleyerek 3 boyutlu fiziksel parça imalatı yapmaktır. Prototipleme, imalatı yapılacak ürünün imal edilmeden önce ön şeklinin veya modelinin oluşturulması olarak tanımlanabilir. Oluşturulan şekle o ürünün prototipi denir. Prototipin çok kısa sürede jenerik teknoloji ile üretilmesine hızlı prototipleme (RP) denir. Hızlı prototiplemeye ekleyerek büyütme-ekleyerek üretme (additive advances-additive manufacturing) de denmekte olup bilim dünyasında daha çok 3D baskı (3D Printing) ifadesi tercih edilmektedir. Kısaca 3D baskı, kişisel bilgisayarlar ve yazıcılarla ilişkili olup bunlar arasında benzerlik kuran bir teknolojidir. Bir grup araştırmacı, bu yöntemdeki CAD (bilgisayar destekli tasarım) vurgusu için elektronik üretim (e-manufacturing) de demektedir.

Hızlı prototipleme ile, ilk şekil yanında, bazı hallerde çok kompleks son şekilli parça da üretilir. Son şekilli polimerik veya metalik ürünün tasarımdan hemen sonra kısa sürede üretilmesi bilgisayar destekli tasarım/üretim (CAD/CAM) teknolojilerinin gelişmesiyle sağlanmıştır.

Pek çok geleneksel üretim işlemleri, iki sınıftan birine girer. Parçalar ya talaşlı imalat (frezeleme, tormalama, testere ile kesme, matkapla delme vb.) ile ana kütleden çıkarılır veya ham malzemenin bir kalıbın şeklini alması zorlanarak (dövme, enjeksiyonla üretme, döküm vb.) üretilirler. 3D baskı yöntemi, artık üreticiler tarafından ciddi oranda kesme, bükme, presleme ve döküm yöntemlerine alternatif olarak dikkate alınmaktadır.

Prototipleme veya 3D baskı üretim; malzeme ve enerji yönüyle geleneksel üretim yöntemlerinden üstündür. Bir 3 boyutlu üretim firması olan Wohlers şirketlerinin baş danışmanı ve başkanı Terry Wohlers; "Eğer talaşlı imalat yapıyorsanız kullandığınız malzemenizin %80-

90'ını kırıntı – döküntü olarak ıskartaya çıkarmanız kadar olağan bir şey yoktur." demiş ve mukayeseyi somutlaştırmıştır.

Ön şekil prototiplemede, yanlış geometriler, yanlış malzeme ve işlemler tasarım aşamasına dönülerek düzeltilir, müdahale edilir. Nasıl bir ürünün ortaya çıkacağı henüz tasarım aşamasındayken görülmüş olur. Prototipler ve bazı son ürünler, günümüzde özel 3D baskı makinaları ile başlangıç noktasından katman katman yüzeye çıkararak oluşturur. CAD modelini paralel enine kesitlere dağıtarak 0,03-0,2 mm (20-200 µm) kalınlığındaki tabakalar inşa edilir, önceki enine kesit üzerinde biriktirilir. Bu işlem: sıvı veya toz ham madde ile oldukça kısa zamanda gerçekleştirildiğinden endüstride kullanım hızla artmaktadır. Bu süreç birçok uygulama için ekonomiktir.

Geleneksel teknikleri kullanarak prototip üretmek ve test etmek, genellikle pahalı ve zaman alıcıdır. Prototipi yapılmış ve test edilmiş bir başlangıç tasarımı sorunlar verirse tekrarlanır ve analiz edilir. Fakat bunun sık olmasına izin verilmez. Hızlı prototiplemede; tasarımcı makinaya üç boyutlu CAD yazılımının stereolitografi biçimi denen endüstri standart dosyasını gönderir. Bu program ile iletişim kurabilen 3D baskı aleti, dosyayı okur, modeli paralel enine kesitlere böler. Enine kesitler, yapılacak tabakaların boyut ve kalınlıkları ile uyumlu olmalıdır. Dijital dosyalarda, tasarımcıya ince ayarlamalar yapabilme imkanı tanınır ve bu üretim aşaması ile takip edilir. Örneğin, stereolitografi ile herhangi bir parça, bir teknede sıvı fotopolimer reçine sertleştirilerek üretilebilir. 3D baskı makineleri bugün; polimerleri, metalleri, sıvı ve toz diğer malzemeleri de kullanarak üretim yapmaktadır[1].

İmalat sanayiinde prototipleme ayrı bir yere sahiptir. Prototipsiz üretimlerde hatalar çıkması sebebi ile firmalar maddi kayıplara uğrarlar. Ürün kaybı yanında kalıp gibi donanım giderleri de artar ve üründe devamlılık sağlanamaz. Bu sorun hızlı prototiplemede yoktur. İş dünyası, 3D baskı ile prototip veya son ürün üretimini (metal dahil) 3. Endüstri devrimi olarak nitelemeye başlamıştır.

3D baskının kökeni 1980'lerin sonlarına kadar gitmektedir. Bu tarihten sonra, 3D baskı iki kısma ayrılmıştır. Bunlardan birincisi meraklıların ve girişimcilerin plastik modeller yaptığı ve 2.000 ABD Doları veya altına mal olan makineleridir. Bu üretim tezgahları tarzındaki aletler kullanıcılarına yeni nesnelere icat etme imkanı vermektedir. Diğeri ise büyük ölçekli üreticilerin 3D baskı işini, endüstriyel güç olarak uçak parçaları, makine parçaları, biyomedikal parça ve cihazlara taşımalarıdır. Bu tür üretimleri yapabilecek makineler 30.000 ABD Doları üzerinde fiyatlara satılırken, lazer temelli uygulama ve hassas metal parça üretim cihazları 1.000.000 ABD Doları gibi fiyatlara çıkmaktadır.

Bunca avantajına rağmen üreticiler; 3D baskı üretimi son üründe kullanmak yerine genellikle bir ilk örnek (prototip) üretme aracı olarak görmektedir. Bunun;

- Seri üretime göre yavaş olması,
- Değişen kalite ve standartsızlık ve
- Bazı karmaşık yapıları üretmenin zorluğu gibi üç nedeni vardır.

En önemlisi de detay gereken üretimlerde süreç yavaş olabilmektedir. Örneğin beysbol topu büyüklüğünde ve düzgün hatlara sahip bir ürün üretmek 6 ile 8 saat alır. Doğal olarak binlerce adet üretmek yıllar alacaktır. Bütün bunlara rağmen gelişme çok hızlı ve şaşırtıcıdır. Aynı makinede aynı anda onlarca sayıda üretebilme, 3D baskıda görülen üstün ürün kalitesi (dökümden iyi, dövmeğe yakın) ve diğer nedenler son ürün seçeneğini güçlendirmektedir.

Bilim insanları kendini gözleyen ve seri üretim yapabilen cihazlar üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Sistem ısı fotoğraf çekimi yöntemiyle ve çekilen görüntülerin analiziyle meydana gelmiş olan çatlakları ve ayıpları üretim devam ederken düzeltmeyi hedeflemektedir. Farklı malzemeleri işleyebilen çoklu ekstrüzyon başlıkları ile 3D baskılı yazıcılar ileri bir rekabet ortamı oluşturmaktadır. Örneğin, bu amaçla Teksas Üniversitesinde 3 Boyutlu (3D) Araştırma Merkezi kurulmuş ve Oak Ridge firması ile ortak 3 boyutlu yazıcı tasarımları yapılmaktadır[2]. Önümüzdeki 10 yılda 3D yazıcılardan çıkmış elektronik sistemler ve farklı malzemelerin birleştirildiği ürünlerin (yazma-basma-üretim teknolojileri) görüleceği söylenmektedir. 3D baskı üretim tekniği, 2030'a kadar kalıplama, dövme ve talaşlı imalat gibi geleneksel üretim yöntemlerinin yerini alabilir. Hava-uzay şirketleri bu eğilimde en öndeki yerlerini almış durumdadır. ASTM (Amerikan Malzeme ve Test Cemiyeti), her ne kadar yolun başında da olsa, 3D baskı üretim tekniğine bir standart getirmeye çalışmaktadır.

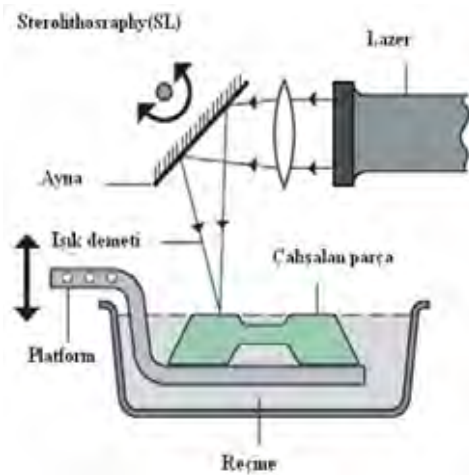
2. LAZER PROTOTİPLEME VEYA SON ÜRÜN ÜRETİMİ

Lazer prototipleme ile dolu veya boşluklu kompleks şekiller üretilebilir. ABS veya naylon limitsiz prototip üretme olanağı verir, fakat hız düşüktür. Zamanla hız ve hassasiyet artacak, maliyet düşecektir. Lazer prototiplemenin gelişimi şaşırtıcıdır. Tasarım veya model üretme imkanı verir. Bir cismi üretme boyut ve prosese bağlı olup maliyet aralığı 50-5000 ABD Doları mertebesindedir. Lazer prototiplemenin rakibi yığıma prototiplemedir. Bu uygulamadaki çevresel etkiler:

- Sıvı reçine buharlaşabilir.
- İnce tozlar patlayabilir.
- Lazer ışık göze hasar verebilir.

Lazer prototipleme yöntemleri 3 ana başlıkta incelenebilir:

- Sıvı reçinede lazer (LRL) uygulamasında, sıvı reçine bulunan bir kaba UV lazer ışın düşürülür. Foto hassas reçine ışık noktalarında polimerizasyona uğrar ve sertleşir. Her nokta cismin ince bir plakasını oluşturur. Noktalar tamamlandığında platform çok az oranda (0,1 mm gibi) aşağıya indirilir. Yüze yeni sıvı hücum eder, yeni ışık noktası ve polimerizasyon sürer. Böylece cisim tabaka tabaka inşa edilir (Şekil 1). Bu uygulama fonksiyonel son ürün üretimine doğru genişlemektedir.



Lazer Prototipleme Teknik Özellikleri	
Üretilen parça ağırlığı (kg)	0.1-20
Minimum kesit (mm)	0.5-100
Karmaşık şekil üretilebilirliği	Yüksek
Tolerans miktarı (mm)	0.2-2
Yüzey pürüzlülüğü (µm)	100-125
Ekonomik üretim adeti	1-100

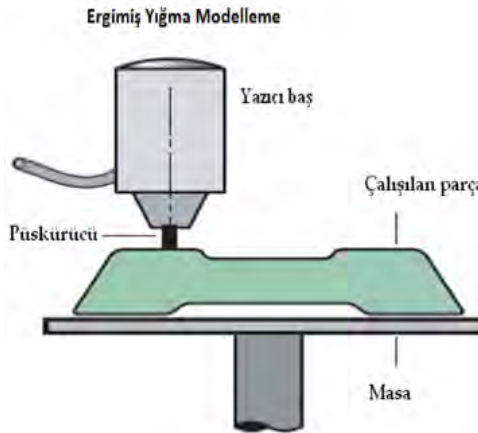
Şekil 1. Sıvı reçinede lazer (LRL) uygulaması [1].

- ii) Selektif lazer sinterlemede (SLS) sıvı reçine yerine eriyebilen toz kullanılır. İnce lazer ışık odaklama ile toz (termoplastik veya mum) ergir. Böylece cismin tek plakası önce sıvı sonra katı olarak üretilir. Platform aşağı iner yeni toz oluşan plaka yüzeyine püskürtülür, yeni lazer, odaklama ile tozu eritir ve bu katılaşma ile takip edilir. Bu metod sinter metallere doğru yayılmaktadır. Günümüzde, Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) ile fonksiyonel son ürün üretimi hız kazanmıştır.
- iii) Lamine olmuş üretim yöntemi (LOM) ile dilimler yine lazer ışık yardımıyla biriktirilir. Burada girdi kağıt termoplastik ile kaplanmıştır. Kağıt bir rulodan beslenir ve her bir dilim lazer ışık tarafından kesilir. Sıcak hadde merdanesi onu daha önce kesilmiş olan dilime bastırır ve anında bağ oluşur. Bu işlem yukarıda verilen ilk iki alternatiften hızlıdır. Lazer burada sadece dilimlerin dış hatlarını verir. Bu yöntem büyük parçalar kalın kesitlere sahip iseler uygundur. Son ürün malzeme yapısı ahşabı andırır.

3. YIĞMA PROTOTİPLEME VEYA SON ÜRÜN ÜRETİMİ

Düğün pasta veya kekinin üst yüzeyine bir tabanca benzeri ağızdan (diş macunu gibi) krema sürüldüğünü düşününüz. Bu 100'lerce kez tekrarladığında yığma eksenli hızlı prototip üretim esasına ulaşılır. Girdi, lazer esaslı prototiplerde olduğu gibi CAD dosyasıdır. CAD komponentin şeklini verir, polimer veya mum olarak parça üretilir. Yığma prototipleme ile dolu ve boşluklu kompleks şekiller ABS veya PA'dan (nylon) üretilebilir. Bu yöntem tasarımcılara mukavemetli malzemelerin prototipini üretebilme imkanı verir. Bu metodun hızı ve hassasiyeti zaman içinde artacak ve maliyet düşecektir. Yığma prototiplemenin rakibi lazer sistemleri olup bu yöntem çevre yönüyle problemsizdir.

- i) Ergimiş yığma modellemede (FDM), ince termoplastik veya mum iki eksen boyunca ısıtılmış ekstrüzyon başından akıtılır. 0,1 mm mertebesindeki yığılmış tabaka alt plakadan yükselmeye başlar. Tabaklar termal füzyonla bağlanır. Süreç (Proses) son işleme (kürleme) gerek duymadan ABS veya PA malzemeler ile yürütülür. Polimer çabuk sertleştiğinden çökme oluşturmaz (Şekil 2).



Şekil 2. Ergimiş yığma modelleme (FDM) uygulaması [1]

Yığma modelleme (prototipleme) özellikleri	
Üretilen parça ağırlığı (kg)	0.1-10
Minimum kesit (mm)	1.2-100
Karmaşık şekil üretilebilirliği	Yüksek
Tolerans miktarı (mm)	0.3-2
Yüzey pürüzlülüğü (µm)	75-100
Ekonomik üretim adeti	1-100

- ii) Balistik partikül modellemede (BPM), ergimiş termoplastik partiküller piezo-elektrik jet ile püskürtülür. Sıvı parça (partikül) yüzeye çarpar çarpmaz donar. Jet başı yüzeye odaklanır ve her seferde tek tabaka oluşur. Bu, inkjet yazıcı sistemi gibi çalışır ve hassasiyet oldukça yüksektir. Üretim hızı da oldukça yüksektir. Bu proses, ince metal tozların püskürtülmesini de kapsar.

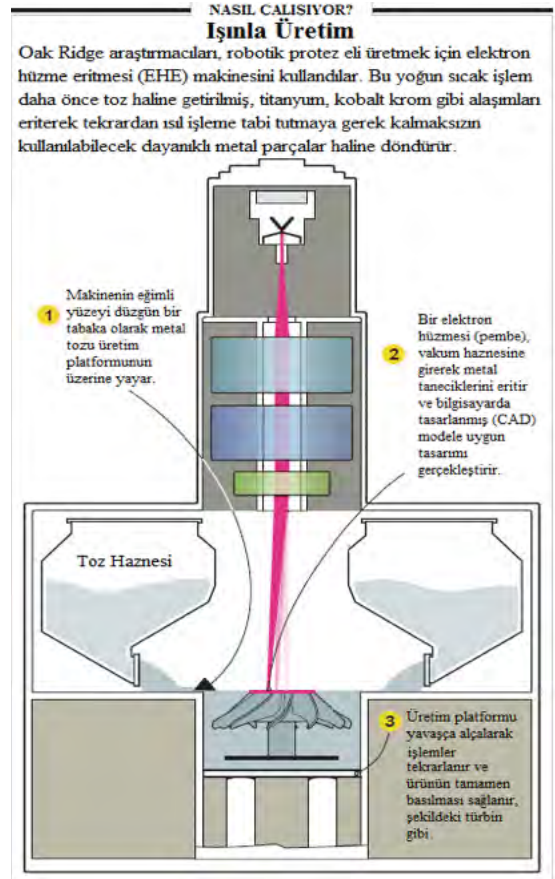
4. METAL ÜRÜN PROTOTİPLEME VEYA SON ÜRÜN ÜRETİMİ

3D baskı öyle bir noktaya ulaşmış durumdadır ki; hiçbir üretim tekniğiyle dahi üretmeyeceğiniz karmaşık şekilli metal parçaları bu yöntemle rahatça üretebilirsiniz. Yüksek hacimli üretim yapan Boeing ve GE gibi firmalar da bu üretim tekniğini kendi devasa üretim hatlarında kullanmaya başlamışlardır. Metaller için eski üretim tekniği olan ve adım adım bütünden oyularak elde edilen yöntemler yerine katman katman örülerek elde edilen eklemeli üretim (additive manufacturing) yöntemi artık daha geçerli olmaktadır. Düşünce tarzında görülen bu denli değişiklik; prototiplemeden-seri üretime kadar üretimin her adımını etkileyecek potansiyele sahiptir.

Bir takım teknik zorluklar metaller için 3D baskı yöntemini itici yapmaktadır. Örneğin, ekleyerek üretim yapmak, talaşlı imalat (çıkarma) yöntemiyle üretim yapma tekniğinden daha yavaş kalmaktadır. Buna karşın, kişiye özel ve küçük hacimli üretimde 3D baskı yöntemi büyük bir güce sahiptir. Araştırmacılar sorunların üstesinden gelebilmek için çalışmalarını devam ettirmektedirler. Problemler aşıldığı zaman 3D basım tekniği seri üretim hatlarının vazgeçilmez gücü olacaktır.

3D baskı, diğer ifadeyle ekleyerek büyütme tekniği makine parçaları, uçak parçaları, biyomedikal parça üretiminde döküm, ekstrüzyon ve CNC işleminin yerini almaktadır. Kalıp teknolojisi ve kalıp işlemleri de yüksek oranda etkilenmektedir. 3D baskı ile kalıplar ya kalkmakta ya da etkili soğutma kanalları gibi çözümlerle üretkenlik artmaktadır. Bugün itibarıyla 3D baskı metallerde; a) Elektro Işın Ergitme (EBM) ve b) Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (DMLS) olmak üzere iki ana fazda gelişme göstermektedir (Şekil 3).

3D baskıda, detay gereken üretimlerde süreç yavaştır. Doğal olarak seri üretimde (çok sayıda üretim) 3D baskı maliyeti yüksek olacaktır. Maliyetin az önemli olduğu ürünlerde ve kişiye özel özgün ürünlerde bu teknoloji ana seçenektir ve alternatifsizdir. Biyomedikal uygulamalar en dikkat çekici alandır. Örneğin tasarımcı Lonnie Love idaresindeki Oak Ridge mühendisleri 3D baskı titanyum robot el parçalarının üretimi için 24 saat ve üretilen parçaların birleştirilmesi için ise 16 saat harcamışlardır[2]. Hedef bu robot eli tek seferde üretebilecek 3D baskı donanımını tasarlamaktır. 3D baskı üretimi ile robot el çalışması umut ve beklenti doğurmuştur (Şekil 4).



Şekil 3. Hızlı prototipleme veya özel ürün üretim hattı [2]



Şekil 4. 3D baskı robot el üretim çalışması [2]

5. 3D BASKI İLE SON ÜRÜNE GEÇİŞ İÇİN BİR ÖRNEK: TEKNE ÜRETİMİ

ABD Washington Eyaleti Seattle Kentinde yapılan eğlenceli tekne yarışları, her yaz tekrarlanır. Yarışta, çevreci malzemelerden yapılan tekneler Green Lake (Yeşil Göl)'ü geçmek zorundadırlar. Bu etkinlikte en çok tercih edilen girdi kullanılmış plastik süt şişeleri idi. Son yapılan yarışta, el yapımı teknelerden biri bütün dikkatleri üzerine çekmiştir. Washington Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden katılan bu deniz aracı aslında düzenli şekilde üretilmiş düzgün hatlara sahip bir tekneye benzemektedir. Bu deniz aracını yapan öğrenciler, Matthew Rogge, Bethany Weeks ve Brandon Bowman, önce atık plastik şişeleri küçük parçalara ayırmış ve ergitmişler, daha sonrada bir 3D baskı aygıtı/yazıcısı kullanarak kendilerine plastik bir tekne basmışlardı/üretmişlerdi. Her ne kadar yukarıda verilen 3 öğrencili takım bu yarışmada ikinci olsa da, 19 Ekim 2012'de yapılan bir başka yarışta birinci gelmiş ve 100.000 ABD Dolarlık bir ödül kazanmıştır[3].

Bu tekne, yukarıda açıklanan şekilde CAD programı kullanılarak ince ekstrüzyon ağızından verilen ergimmiş plastiklerin sonradan katılan katılardan tabakalarından üretilmiştir. Burada atık plastik süt şişelerinin yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeden meydana geldiği vurgulanmalıdır. Yazıcı kafası basılacak nesnenin üzerinden tekrar eden geçişler yaparak ve geçtiği yerlerde plastik tabaka bırakarak yığılmalı şekilde üç boyutlu yapıyı inşa eder. Kısaca, tabaka tabaka üç boyutlu eklemeli üretim ile kalıpsız yekpare bir yapı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5).

3D baskı yöntemi artık üreticiler tarafından ciddi bir şekilde kesme, bükme, presleme ve döküm yöntemlerine alternatif olarak dikkate alınmaktadır. Ayrıca, 3D baskı, bilgisayara meraklı ve yetenekli insanlar arasında da popüler bir hobidir. Bu tür cihazların yoksul ülkelerdeki insanların günlük yaşamlarını iyileştirmek için bugüne kadar kullanılmamış olması büyük kayıptır. Bay Rogge, Bayan Weeks ve Bay Bowman ödül paralarını tam da bu hizmette kullanmak eğilimindedir. Onların planları, «Water for Humans» (İnsanlar için su) hayır cemiyetiyle bir ortaklık kurup, sipariş üzerine yapılacak «composting toilets» (insan dışısını gübreye çeviren tuvalet) ve «rainwater collectors» (yağmursuyu toplayıcısı) üreten bir firma kurmaktır. Bu ortaklık, fakir ülkelerdeki girişimcileri bulacak ve 3D baskı cihazlarını nasıl yapacaklarına, kullanacaklarına ve bakım yapacaklarına dair onlara eğitim verecektir. Yerel ortaklar ne tür ürünlere ihtiyaç olduğunu ve kaç insanın bu ürünlere para ödeyeceğini tayin edecek/edecek, böylece ürünün üretilmeye değer olup olmadığı anlaşılacaktır. Bu yolla işletme ticari bir dayanak üzerinde çalışacaktır. 3D baskı cihazını yöneten yazılım, cihazın üretebileceği tasarımlara

herkesin erişebileceği şekilde açık kaynaklı olacaktır. Teknoloji bu şekilde yayılabilecektir. Yakın zamanda bir deneme Oaxaca/Mexico'da başlayacaktır.

Üniversite öğrencilerinin tasarladığı bu baskı cihazının en can alıcı noktası ise cihazın üretim için tayin ettiği boyutlar ve ucuzluğu bünyesinde birleştirmesidir. Hobiciler tarafından kullanılan baskı cihazları pahalı değildir fakat küçüktür. Bir çoğu ile bir kahve fincanından daha büyük bir şeyler yapmak neredeyse imkansızdır. Takımın baskı cihazı, ikinci el-bilgisayar kontrollü plazma kesici üzerine inşa edilmiştir. Plastik (HDPE) granüller ince bir yolluk içine verilir, ergitme ve gerektiği şekilde dışarı püskürtme gerçekleşir. Plazma kesici ekstruderin manevralarını idare eder. Takımın baskı cihazı 2.5 x 1.2 x 1 metrelik boyutlarda üretim yapabilme kapasitesine sahiptir. Gereğine uygun şekilde, cihazın bir çok parçası, 3D yazıcının masaüstü bir modelinde üretilmiştir.

Bu 3D yazıcının mürekkebi de ucuzdur. Burada mürekkebin yerini tutan yüksek yoğunluklu polietilen genelde çöplükte son bulan bir malzemedir. Kelimenin tam anlamıyla ekstrüderden çamur kıvamında akar. Bay Rogge'nin tahminlerine göre takım arkadaşlarıyla beraber ürettikleri tekne, 3.20 ABD Doları tutarındaki 250 kullanılmış (temizlenmiş ve kırılmış) süt şişesinden yapılmıştır. Yerine sıfırdan ham plastik olarak üretilmiş olsalardı, teknenin tutarı 800 ABD Doları gibi bir rakama ulaşacaktı.

Bazı teknik sorunlar devam etmektedir. Yüksek-yoğunluklu polietilen soğuduğu zaman büzülür buda üretilen/basılan nesnenin gerilimli olmasına hatta yırtılarak parçalanmasına dahi yol açabilmektedir. Bu sebeple öğrenciler, daha hızlı baskı yapan ve plastik katmanların neredeyse eş zamanlı soğumasına müsaade eden ikinci bir model üzerine çalışmalar yapmaktadır. Grup, büzülmeden daha az etkilenen malzemelerle üretim üzerine deneylerini sürdürmektedir. Ürün fiyatlandırılana kadar, takımın cihazı yarışmalara ürün çıkararak 3D yazıcı olarak kalacaktır. Bu noktada Bay Rogge'nin, örneğin, kullanılmış 1 süt şişesinden yapılmış dahi olsa bu yazıcı ile üretilen bir plastik kovanın fabrikada üretilenlerden ucuz olup olamayacağı, yönündeki kuşkusu hiç de haksız değildir.

Tekneler bu noktada bir istisna olabilir. 3D4D yarışmasındaki uzmanlardan biri, batı Afrika da birçok küçük teknenin nadir bulunan tik (teak) ağacından yapıldığını belirtti. Bu tekneleri ağaçlar yerine atık plastiklerden yapmanın daha çevreci olacağına bu sayede bir taşla iki kuş vurularak kazançlı çıkılacağına, böylelikle seyrek türlerin korunabileceğine ve çevreye daha az çöp atılacağına değinmiştir.



Şekil 5. Bay Rogge ve arkadaşlarının 3D Baskı ile ürettikleri tekne [3]

6. KAYNAKLAR

- 1) Mike Ashby and Kara Johnson: Materials and Design, Elsevier, London,2002, p:256,257
- 2) Larry Greenemeier ve arkadaşları: To print the impossible: Will 3-D printing transform conventional manufacturing?, Scientific American, May 2013, 30-33.
- 3)A third-World Dimension,The Economist, November 3rd 2012, 69,70