



3B BASKI TEKNOLOJİSİ KULLANARAK YAPI ÜRETİMİNDE SON DÖNEM YENİLİKLER

Ali Erdem ÇERÇEVİK¹, Yusuf Cengiz TOKLU², Süheyla YEREL KANDEMİR¹, Mustafa Özgür YAYLI³

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye

²Okan Üniversitesi İnşaat, Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

ÖZET

İnşaat teknolojisi yapılan yatırımlar ile her geçen gün gelişmektedir. Yapılan büyük projeler yeni teknolojik araştırmaların önünü açmaktadır. İnsanlığın en önemli ihtiyaçlarından olan barınma ihtiyacını karşılamak için daha hızlı, daha pratik ve daha ekonomik üretim ihtiyacı insan sayısının artışı ile artmaktadır. İnşaat işlerinde bu ihtiyaçları karşılamak için birçok teknolojik gelişimden yararlanılmaktadır. Bu teknolojik gelişimlerinden bir tanesi de 3B baskı teknolojisini kullanarak yapı üretimidir. 3B baskı teknolojisi birçok alanda kullanılabilirliği ile kendini kanıtlamış yenilikçi bir teknolojidir. İnşaat işlerinde kullanımı da son 10 yılda ortaya çıkmış, getirdiği avantajlar sayesinde gelecek yapı üretim tekniklerinden bir tanesi olacağı kesindir. Bu çalışma kapsamında 3B baskı teknolojisinin inşaat işlerinde kullanımının son dönem gelişimi araştırılmıştır. Yapılan yüksek katlı yapılar, ihtiyaç duyulan malzemeler için yapılmış çalışmalar, çelik köprü üretimi, uzay yapıları gibi konular başlıca ele alınmıştır. Ayrıca bu teknolojinin geleceği de tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 3B Baskı Teknolojisi, Otomatik Yapı Üretimi, Yenilikçi İnşaat Teknolojileri.

INNOVATIONS OF BUILDING PRODUCTION USING 3D PRINTING TECHNOLOGY OF THE LAST PERIOD

ABSTRACT

Construction technology continues to grow with investments day to day. The large projects that are open up new technological research. The need for faster, more practical and more economical building production to meet the needs of humanity is increasing. In construction works, many technological improvements are being used to meet these needs. One of these technological developments is building production using 3D printing technology. 3D printing technology is an innovative technology that has proven itself with many field use possibilities. Its use in construction works has also appeared in the past 10 years and thanks to the advantages it brings, it will be one of the future building production techniques. In this study, the recent development of the use of 3D printing technology in construction works has been investigated. High-rise constructions, works for the required materials, steel bridge production, space structures are mainly discussed. The future of this technology is also evaluated.

Keywords: 3D Printing Technologies, Contour Crafting, Innovative Construction Technologies.

1. GİRİŞ

Yerinde döküm insanlık tarihinde Romalılarından beri kullanılan bir inşaat tekniğidir. Romalıların inşa ettikleri kemerli, kubbeli yapılarla inşaat teknikleri gelişmiş, tarihi yapılar üretilmiştir. İnsanlığın büyük kaleler, dini yapılar ve köprüler yapma becerileri 19. Yüzyıla kadar artarak devam etmiştir. Bu dönemde, çekmeye dayanıklı malzemelerin üretilmemesi nedeniyle taş işçiliği yaygındı [1]. Taş işçiliğinin bu denli çok olduğu inşaat işlerinde ise yapı üretimi için çok sayıda yetişmiş usta gerekmektedir. 20. yüzyılın başlarında çimento ve çeliğin gerçek anlamda inşaat işlerinde kullanılmasıyla yapım tekniği değişmiştir. Kalıplar içine dökülen beton ve kullanılan çelikte kemerli kubbeli yapılar yerini betonarme yapılara bırakmıştır. Yüksek yapılar uzun köprüler ve büyük barajlar üretilmiştir. Hesaplamalarda bilgisayar programlarının kullanılması ve deprem mekaniğinin daha iyi anlaşılmasıyla daha güvenli yapılar yapılmıştır [2].

İnsanlığın kerpiç evler ve taş işçiliği ile başlayan inşa etme kabiliyeti, bugün her basamağında bilgisayarlar ve otomasyon sistemlerinin kullanıldığı bir yetenek haline gelmiştir. İnşa yeteneklerinin artmasıyla günümüzde yapılar modern, güvenli, estetik ve ekonomik üretilmektedir. Ancak bu yetenekler dünya dışına açılan insanlık için yeterli değildir. Son yarım yüzyılda yapılan uzay araştırmaları ile insanlık Ay'a ayak basmış, Marsa insansız araçlar göndermiştir.

Uzay araştırmalarının bir tanesi de dünya dışı yerleşimdir. Gelecekte Ay'a ya da Mars'a bir koloni kurma fikri ulaşılmaması zor bir hedef olsa da bu hedef için çalışmalar devam etmektedir. Dünya dışı bir koloni kurmak için öncelikle dünya dışı inşa tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Ancak dünya dışı inşaat işi çok farklı problemleri için de barındırmaktadır. Bu problemleri aşabilmek için en uygun yol, 3B yazıcı tekniğine dayanan bilgisayarlı makinelerin yapıları inşa etmesi olarak görülmektedir.

Dünya dışı yerleşimi kurabilme çalışmalarını, şu anda uzay araştırmalarının dünyanın öncü kuruluşu NASA(National Aeronautics and Space Administration) ile bilim insanları birlikte yapmaktadır. NASA 2010 yılında Güney Kaliforniya Üniversitesinden Profesör Khoshnevis ile 3B yazıcı tekniğinin uzay yapılarını inşa edebilmesi için çalışma başlatmıştır [3]. Yapılan çalışmalarda, yapıların malzemesinin yüzde 90'ı Ay'dan yüzde 10'u ise dünyadan temin edilmesi tasarlanmıştır [4].

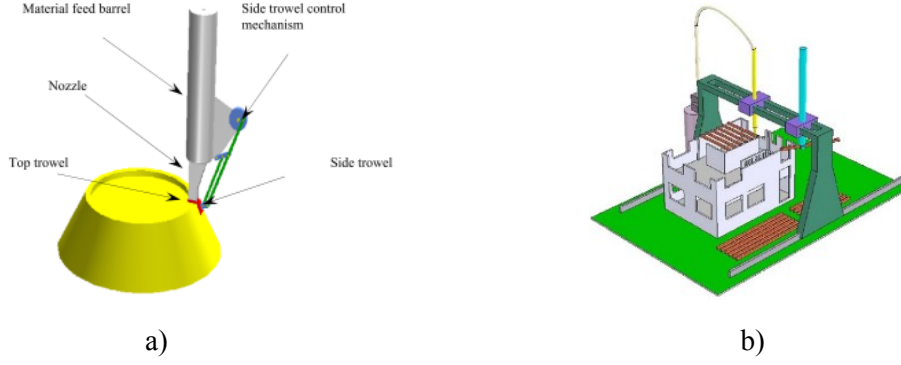
Profesör Khoshnevis'in 2000 yılında patentini alarak başlattığı teknoloji, uzay yapılarında uygulama alanı bulmuştur [5, 6]. Uzay yapılarında kullanılabilir olduğu belirlenen teknolojinin araştırmaları hızla artmıştır. Birçok teknolojiye öncülük etmiş uzay bilimi bu aşamada inşaat teknolojisine de katkı sağlamıştır. İnşa teknolojisi bilgisayarlı otomasyon sistemleri sayesinde farklı bir boyut kazanmıştır.

3B yazıcı ile yapı teknolojisi (Contour Crafting, CC), NASA Tech Briefs Media Group tarafından Kasım 2014'te 1000'den fazla küresel rekabet teknoloji arasında en üst teknoloji seçildi. Ayrıca National Inventor's Hall of Fame tarafından "Yılın En İyi 25 Buluşundan" biri olarak görüldü. 2016 yılında da NASA tarında 3 boyutlu yazıcılar için bir ödüle layık görülerek oldukça kullanışlı ve yararlı bir teknoloji olduğunu kanıtladı [7].

Bu çalışmada, 3B baskı teknolojisinin inşaat işlerinde kullanımının son dönem gelişimi araştırılmıştır. Aldığı birçok yenilikçi teknoloji ödülü ile 3B baskı teknolojisinin kullanımı ve örnek yapıları sunulmuştur.

2. 3B YAZICI İLE YAPI ÜRETİMİ

3B yazıcı ile yapı üretimi klasik 3B yazıcı mantığına dayanmaktadır. Bilgisayar ile kontrol edilen, ağızdan beton çıkan bir nozzle taşıyan vinç, programından gelen komutlar ile ileri-geri, sağa-sola, aşağı-yukarı hareket ederek yapı üretimi yapmaktadır (Şekil 1) [8].



Şekil 1. a) Beton Döken Nozzle Ucu, b) 3B Yazıcı İle Yapı Teknolojisi ile Yapı Üretimi [8]

Nozzle ağzından çıkan beton küçük bir malalama işlemi ile düzeltilmektedir (Şekil 2). Özel bir beton ile çalışan sistem, bilgisayarda hazırlanmış modeli oluşturmaktadır. Sistemin ürettiği yapı elemanları herhangi bir kalıp veya kalıp işçiliği gerektirmez. Çelik donatı kullanılmaz. Ayrıca sıva yapmaksızın boya işlemine hazır yüzeyler elde edilebilir. Bu da işçilikten çok büyük tasarruflar sağlamaktadır.



Şekil 2. 3B beton yazıcı ile katman katman dökümle üretilen yapılar [9].

3. SON DÖNEM 3B YAPI ÜRETİM ÇALIŞMALARI

3.1. Akademik Çalışmalar

Khoshnevis'in NASA ile başlattığı çalışma sonrasında birçok araştırmacı bu konu ile ilgilenmiştir. Bu çalışmalar malzeme çalışmaları [10-17], çelikle güçlendirilmiş yapılar [18], teknolojinin geleceği [19], yapı tipleri [20], robotik kollar [21] ve üretim optimizasyonu [22] üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan akademik çalışmalar sonucu teknoloji her geçen gün gelişim göstermektedir.

3.2. Güncel Çalışmalar

Teknolojik gelişimler ve akademik çalışmaların her alana getirdiği yeniliklerden inşaat işleri de etkilenmiştir. Önceleri akademik çalışmalarda ve uzay yapılarında ortaya çıkan yapı üreten 3B yazıcılar günümüzde özel şirketler tarafından da kullanılmaya başlamıştır. Bu bölümde 3B yazıcılar tarafından son dönemde üretilmiş yapılar sunulmuştur.

Dubai'de tamamen 3B yazıcılar ile üretilmiş ofis binaları inşa edilmiştir. Dünya'nın en yüksek binasına sahip olan Dubaililer teknolojik gelişimleri yakından takip etmektedirler. 17 saatte üretilmiş ofis binası Şekil 3'de görülmektedir [23].



Şekil 3. Tamamen 3B yazıcılar ile üretilmiş Ofis binaları [23]

2015 yılında Çinli bir firma 3B yazıcılar ile 5 katlı bir yapı yaptı (Şekil 4). Yapıyı üretmek için 6,6 metre yüksekliğinde, 10 metre genişliğinde ve 40 metre uzunluğunda bir 3B yazıcı kullanıldı. 2200 metrekarelik yapı üretimi için hafriyat malzemelerden yararlanılarak çevreci bir tasarım yapılmıştır [24].



Şekil 4. 3B yazıcı ile yapılmış 5 katlı bir bina [24]

2017 yılında Eindhoven Üniversitesi Hollanda Amsterdam'da dünyanın ilk 3B yazıcısı ile üretilmiş köprüsünü inşaa etmiştir (Şekil 5). Köprü çok geniş açıklıklı ve mimari olarak güzel görünümüne sahip olmasa da 3B yazıcı ile yapılmış ilk köprü olması sebebi ile bir önemli bir yapıdır.



Şekil 5. 3B yazıcı ile üretilmiş dünyanın ilk köprüsü [25]

3.3. Yapılması Planlanan Yapılar

Günümüzde 3B yazıcılar ile birçok yapı elemanı ve küçük ölçekte yapılar üretilmektedir. Sağladığı avantajların anlaşılmasından sonra gelecekte daha büyük yapıların yapılması planlanmaktadır (Şekil 6).

Daha büyük basım ağı bulunan makineler ile büyük yapıların yapılması düşünülmektedir. Bu sayede ihtiyaç bulunan yerlerde çok hızlı toplu konut projeleri gerçekleştirilebilecektir [26].



Şekil 6. Çok katlı, geniş ölçekli yapı çalışmaları [26]

Birçok altyapı tipi, 3B yazıcı teknolojisi kullanılarak otomatik olarak oluşturulabilir. Örneğin, rüzgâr türbini kuleleri, köprü direği, su kulesi, silolar, bacalar vb. 3B yazıcılar ile üretilebilir (Şekil 7). Dikine yükselen bu yapılar için yapı boyunca tırmanan robot kollar kullanılacaktır [27].



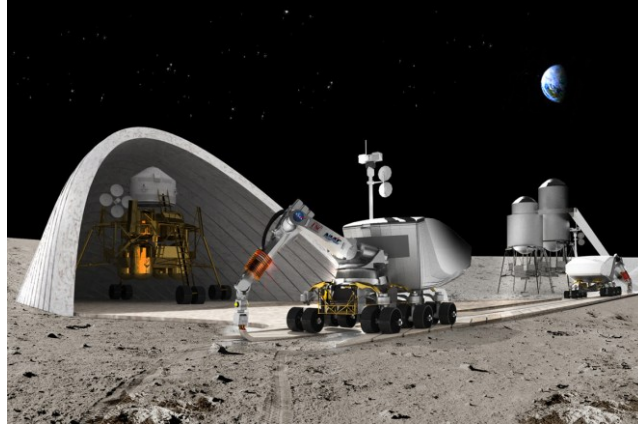
Şekil 7. 3B Yazıcılar ile Altyapı Çalışmaları [27]

3.4. NASA'nın Çalışmaları

3B yazıcı kullanarak yapı üretimi çalışmalarını öncelikle NASA başlatmıştır. NASA'nın Ay'a üs kurma hedefi Apollo görevlerinden bu yana hedeflerinden bir tanesidir. NASA'nın Ay görevleri uzay yarışı için önemli bir basamak olmuştur. Bir dönem Ay ile ilgili çalışmalar azalsa da son dönemde Ay'a üs kurma planı yeniden ortaya çıkmıştır [28].

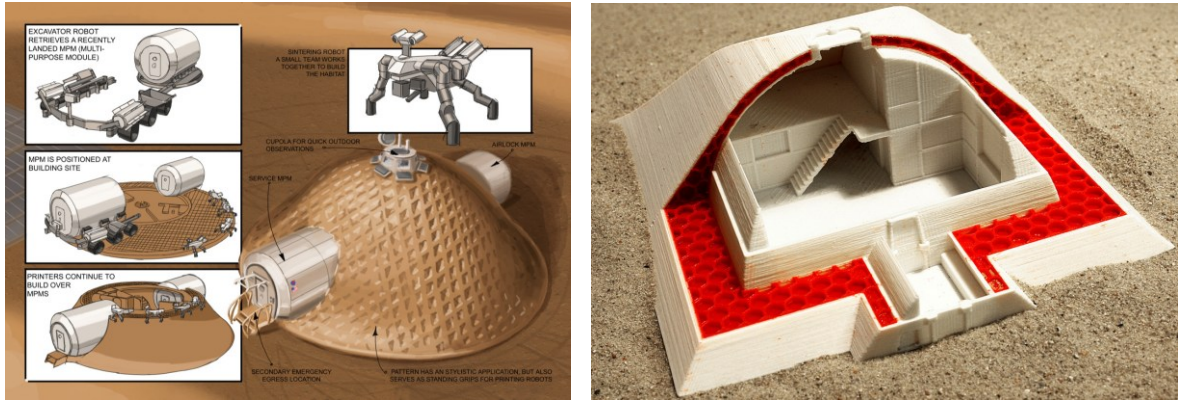
Ay'da oluşturulacak yaşam alanı için yeterli malzemenin uzay mekikleri ile Dünya'dan götürülmesi maliyetli ve zaman alıcı bir işlemdir. Ay'a götürülebilecek kısıtlı malzeme ve ekipmanla görevini yerine getirebilecek yapılar üretilmelidir. Bu sebeple de Ay'da yerleşik yapılar yapılması planlanmaktadır. Ay'da yapılacak bu yapılar gelecekte Mars yapıları için de ilham kaynağı olacaktır [29].

Ay'da yerleşik yapıların üretilmesi ise farklı problemlerin olduğu bir konudur. Ay'da yapı üretmek Dünya'daki geleneksel yapı üretiminden çok farklı olmalıdır. Kullanılacak malzeme, tasarım ve yapım teknikleri Ay'ın özelliklerine ve kısıtlı malzeme ve ekipmana uygun olmalıdır [30]. Öncelikle Ay'da yeterli personel olmaması ve Ay yürüyüşlerinin çok zorlu olması sebebiyle yapıların insanlar tarafından yapılması mümkün değildir. Bu noktada 3B yazıcıların Ay yapılarında kullanılma fikri ortaya çıkmıştır. NASA bununla ilgili birçok çalışma yapmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. 3B Yazıcılar ile üretilmesi planlanan Ay Yapısı [31]

NASA Dünya dışı üs kurma hedefi ile birçok yarışma düzenlemektedir. Şu anda 2 milyon dolar ödüllü 3B yazıcılar ile üretilmiş yaşam alanlarının kurulması hedefi ile bir yarışma düzenlemiştir. Bu yarışma bu alanda yapılan 3. yarışmadır. Yarışma kapsamında oluşturulacak yaşam alanı için mimari proje, yapım süreci, yapım tekniği ve 3B baskı teknolojilerinin kullanımı yarışma kıstaslarını oluşturmaktadır. Şekil 9’da yarışmalara katılmış proje örnekleri görülmektedir [32].



Şekil 9. NASA'nın Açtığı Proje Yarışmalara Katılan Proje Örnekleri [33]

4. SONUÇLAR

Günümüzde 3B yazıcı ile yapı üretimi çalışmaları hızlanarak artmaktadır. 3B yazıcının uzay yapıları için de kullanılabilirliğinin ortaya çıkması ile birlikte araştırmacıların dikkati bu teknolojiye yoğunlaşmıştır. Teknolojide kullanılan beton ve cihazların yetenekleri artırılmıştır. Bu sayede 3B yazıcılar, üretilen köprüler, altyapı ve binalar ile daha çok alanda kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada da 3B beton yapılarının üretimi, üretilmiş yapılar, gelecekte üretilecek yapılar ve uzay yapıları araştırılmıştır. NASA'nın açtığı proje yarışmalarına gösterilen ilgi, özel şirketlerin tasarımları, araştırmacıların çalışmaları 3B yazıcıların gelecekte birçok yapı üreteceği görülmektedir. Geleneksel inşaat tekniklerine göre işçilik, kalıplama ve malzemeden edilen tasarrufla yapı üretiminde 3B yazıcıların kullanımının hızla artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kadioğlu M. Roma imparatorluk mimarisi, Ankara Üniversitesi, Ders Notları.
- [2] Akman, M.S. Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi. TMH Yayınları, 2003.
- [3] <https://www.media.mit.edu/node/2277> Accessed 24 February 2018.
- [4] <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2539857/How-3B-printing-help-colonise-moon-Contour-Crafting-technique-build-lunar-bases-astronauts-just-24-hours.html> Accessed 24 February 2018.

- [5] Khoshnevis B. Automated construction using the contour crafting layered fabrication technique. *Manufacturing Solutions* 2000: 1-5.
- [6] Khoshnevis B, Bukkapatnam S, Kwon H, Saito J. Experimental investigation of contour crafting using ceramics materials, *Rapid Prototyping Journal* 7 (1) 2001; 32 – 41.
- [7] <http://contourcrafting.com/> Accessed 24 February 2018.
- [8] Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in construction* 13.1 2004; 5-19.
- [9] <http://www.futuristspeaker.com/business-trends/disposable-houses/> Accessed 24 February 2018.
- [10] Kazemian A, Yuan X, Cochran E, Khoshnevis B. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. *Construction and Building Materials*, 2017; 145, 639-647.
- [11] Le TT, Austin SA, Lim S, Buswell RA, Gibb AGF, Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete, *Mater. Struct.* 45 2012; 1221–1232.
- [12] Perrot A, Rängeard D, Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques, *Mater. Struct.* 49 (4) 2016; 1213–1220.
- [13] Khoshnevis B, Yuan X, Zahiri B, Jing Z, Xia B. Construction by contour crafting using sulfur concrete with planetary applications, *Rapid Prototyping J.* 22 (5) 2016; 848–856.
- [14] Babak Z, Khoshnevis B. Effects of interlocking on interlayer adhesion and strength of structures in 3D printing of concrete. *Automation in Construction* 83 2017; 212-221.
- [15] Paul SC, Tay YWD, Panda B, Tan MJ. Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction. *Archives of Civil and Mechanical Engineering.* 2018; 18(1), 311-319.
- [16] Gosselin C, Duballet R, Roux P, Gaudillière N, Dirrenberger J, Morel P. Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete—a new processing route for architects and builders. *Materials & Design*, 2016; 100, 102-109.
- [17] Toklu YC, Çerçevik AE, Şahinöz M. Otomatik Yapı Üretim Teknolojisinde Kullanılabilecek Malzemelerin Belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 21.1 2017; 51-57.
- [18] Asprone D, Auricchio F, Menna C, Mercuri V. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach. *Construction and Building Materials.* 2018; 165, 218-231.
- [19] Hager I, Golonka A, Putanowicz R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering.* 2016; 151, 292-299.
- [20] Duballet R, Baverel O, Dirrenberger J. Classification of building systems for concrete 3D printing. *Automation in Construction* 83 2017; 247-258.
- [21] Bosscher P, Williams RL, Bryson LS, Castro-Lacouture, D. Cable-suspended robotic contour crafting system. *Automation in construction*, 2007; 17(1), 45-55.
- [22] Zhang J, Khoshnevis B. Contour Crafting Process Plan Optimization Part I: Single-Nozzle Case. 2010.
- [23] <https://progrss.com/design/20160525/dubai-debuts-worlds-first-3D-printed-office/> Accessed 24 February 2018.
- [24] <http://www.ajanshaber.com/3D-yaziciyla-5-katli-bina-ve-villa-yaptilar-haberi/159097> Accessed 24 February 2018.
- [25] <http://vietnamnews.vn/life-style/405822/dutch-open-worlds-first-3D-printed-bridge.html#yO5dWdFKQm6119ef.97> Accessed 24 February 2018.
- [26] <http://contourcrafting.com/building-construction/> Accessed 24 February 2018.
- [27] <http://contourcrafting.com/infrastructure-construction/> Accessed 24 February 2018.
- [28] <http://www.businessinsider.com/humans-could-be-living-on-the-moon-in-10-years-2016-3> Accessed 24 February 2018.
- [29] <https://news.usc.edu/97707/new-3-d-printing-process-could-lead-to-construction-on-mars-and-the-moon/> Accessed 24 February 2018.
- [30] Toklu YC, Çerçevik AE, Kandemir SY, Yayli, MO. Production of lunar soil simulant in Turkey. In *Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, 2017 8th International Conference on (pp. 1-5). IEEE.
- [31] <https://www.archdaily.com/554739/nasa-tech-brief-awards-contour-crafting-s-automated-construction-methodology-top-honors/543429a0c07a8049f5000126-nasa-tech-brief-awards-contour-crafting-s-automated-construction-methodology-top-honors-photo> Accessed 24 February 2018.
- [32] https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/centennial_challenges/3BPHab/nasa-opens-2M-third-phase-of-3B-printed-habitat-competition Accessed 24 February 2018.
- [33] <http://3Bpchallenge.tumblr.com> Accessed 24 February 2018.