



Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi)

www.bestdergi.net

3D Yazıcıların Eğitimde Kullanımı

Serhan Kökhan, Uğur Özcan
Gazi Üniversitesi

Bu makaleye atıf için:

Kökhan, S. & Özcan, U. (2018). 3D yazıcıların eğitimde kullanımı. *Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi)*, 2(1), 81-85.

To cite this article:

Kokhan, S. & Ozcan, U. (2018). Use of 3D printers in education. *Science, Education, Art and Technology Journal (SEAT Journal)*, 2(1), 81-85.

Makale Türü (Paper Type):

Derleme (Literature Review)

Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi):

Bilim, Eğitim, Sanat ve Teknoloji Dergisi (BEST Dergi); ulusal, bilimsel, hakemli ve Türkçe bir dergi olarak yılda iki kez yayınlanmaktadır. Bu dergide; bilim, eğitim, sanat veya teknoloji ile ilgili özgün kuramsal çalışmalar, literatür incelemeleri, araştırma raporları, sosyal konular, kitap incelemeleri ve araştırma makaleleri yayınlanmaktadır. Dergiye yayınlanmak üzere gönderilen makalelerin daha önce yayınlanmamış veya yayınlanmak üzere herhangi bir yere gönderilmemiş olması gerekmektedir. Bu makale araştırma, öğretim ve özel çalışma amaçları için kullanılabilir. Herhangi bir formda, kısmi veya bütün olarak yeniden basımı kesinlikle yasaktır. Makalelerinin içeriğinden sadece yazarlar sorumludur. Dergi, makalelerin telif hakkına sahiptir. Yayıncı, araştırma materyalinin kullanımı ile ilgili olarak doğrudan veya dolaylı olarak ortaya çıkan herhangi bir kayıp, eylem, talep, işlem, maliyet veya zarardan sorumlu değildir.

Science, Education, Art and Technology Journal (SEAT Journal):

Science, Education, Art and Technology Journal (SEAT Journal) is published twice a year as a national, scientific, refereed and Turkish journal. In this journal, original theoretical works, literature reviews, research reports, social issues, psychological issues, curricula, learning environments, book reviews, and research articles related to science, education, art or technology are published. The articles submitted for publication must have not been published before or sent to be published anywhere. This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction in any form to anyone is expressly forbidden. Authors alone are responsible for the contents of their articles. The journal owns the copyright of the articles. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of the research material.

3D Yazıcıların Eğitimde Kullanımı

Serhan Kökhan, Uğur Özcan

Özet

Günümüzde 3 boyutlu yazıcı teknolojisi birçok alanda kullanılmakta ve her geçen gün farklı kullanım alanlarına kavuşmaktadır. Bu alanlara örnek olarak endüstriyel imalat, tıp ve sağlık, havacılık ve uzay, mimarlık ve inşaat, askeri uygulamalar, tekstil, gıda, eğitim verilebilir. Eğitim başlığı 3 boyutlu yazıcılar için stratejik bir öneme sahiptir. İnteraktif olarak geçen, mekanik ve teknik derslerdeki yaratıcılığın artırılmasında önemli bir araç olarak görülmektedir. Bu teknolojinin eğitim ortamında etkin bir şekilde kullanımı ile çok farklı alanlarda farklı deneyimler yaşanabilmekte. Matematik’de 3 boyutlu objelerin dizayn edilmesi, yazdırılması ve hesaplanması. Coğrafya’da rölyefler tasarımı ve baskısı, sanat eğitimde sanatsal nesnelerin tasarlanıp yazdırılması, Biyoloji’de molekül modellerinin basımı gibi birçok uygulama örneği bulunan 3 boyutlu yazıcı teknolojileri sayesinde, zorlu kavramların öğrencilere açıklanması, öğrencilerin ilgisini çekip daha etkin derse katılımlarının sağlanması ve sınıf içi etkileşim daha kolay olabilmektedir. Bu sayede geleceğe dönük olarak, öğrencilerin kariyerlerine hazırlanma ve kendilerine değerli beceriler kazandırılabilme imkânı sağlanabilmektedir. Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcıların eğitimde kullanımı ve potansiyel kullanım alanları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu yazıcı, Eklemeli imalat, Eğitim

Use of 3D Printers in Education

Abstract

Today 3D printing technology is using in most areas and day by day usage area of this technology increase. Examples of these areas are textiles, health and health, aviation and space, architecture and construction, military processing, textiles, food, education. The education title has a strategic importance for 3D printers. It is seen as an important tool in increasing creativity in interactive, mechanical and technical courses. With the effective use of this technology in the educational environment, different experiences can be experienced in different areas. Designing, printing and calculating 3D objects in mathematics. Through the use of 3D printer technologies that include many examples of applications such as designing and printing reliefs in geography, designing and printing artistic objects in art education, printing molecular models in biology, explaining challenging concepts to learners, attracting students to participate more effectively in class, classroom interaction may be easier. In this way, students will be able to prepare for their careers and gain valuable skills for the future. This study examines the use and potential uses of 3D printers.

Key Words: 3D Printer, Additive manufacturing education

Giriş

Son yılların trend başlığı eklemeli imalat teknolojileri ve uygulamaları birçok kulvarda önemli bir çalışma alanı haline gelmiştir. Eklemeli imalatı, malzemelerin katmanlar halinde yazılmasıyla belirli bir modelin üç boyutlu olarak imal edilmesi olarak tanımlayabiliriz. Yeni endüstriyel devrim olarak tanımlanan Endüstri 4.0'ın da önemli bir bileşeni olan 3D yazıcıların üretim iş modellerinde önemli değişiklikler getireceği düşünülmekte. Bu teknoloji düşük malzeme kullanımı, ürünlerin hafifliği ve çok fonksiyonlu bileşenlerin tasarımına imkan vermektedir. Eklemeli imalat teknolojileri ilerledikçe yeni malzemelerin imalatı sağlanabilecektir. Geleneksel olarak, imalat için tasarım yapmak, imalat karmaşıklıklarını, güçlükleri ortadan kaldırarak ve imalat maliyetini en aza indirgeyerek daha iyi ürünler tasarlamak anlamına gelmektedir. Eklemeli imalatın (AM) benzersiz özellikleri, kompleks geometrik, çok malzemeli, çok işlevli parçaları tek bir işlemde herhangi bir ilave masrafa gerek kalmaksızın kullanabildiğinden, eklemeli imalat (AM) tasarımı temelde farklı bir anlama sahip. Bu nokta, geleneksel imalat proseslerine göre büyük bir avantaj sağlamakta. Bununla birlikte, bu avantajdan faydalanabilmek için, malzeme bilgilerini tasarım ve imalat simülasyonları ile bütünleştiren sofistike tasarımcı becerileri ve araçları gereklidir. Karmaşık geometrik şekiller üç boyutlu yapılardır ve bunlar genellikle alt kısımları veya içi boşluklu yapılardır. Organik yapılar böyle karmaşık yapıların bir örneğidir. Tornalama, frezeleme, kalıplama ve dökme gibi konvansiyonel teknolojiler karmaşık yapıların yaratılmasında ancak sınırlı bir başarıya vardır ve aşırı maliyet ve zaman gerektirebilir. Eklemeli imalatın gelecekteki kullanımı belirsiz olsa da, karmaşık geometrik şekillere sahip çok özel ve çok fonksiyonlu parçalar için endüstrideki uygulamaların yakın zamanda genişlemesi beklenmektedir.

3D yazdırma teknolojilerinden etkin olarak faydalanmaya yardımcı olacağı düşünülen maddeler şunlardır:

- Geleneksel imalat nesnenin şekli ne kadar karmaşıkça, o kadar çok maliyetlidir. 3D bir yazıcıda, karmaşıklık maliyeti sadelikle benzerdir. Bu teknoloji fiyatlandırma modellerine yeni bir bakış açısı kazandıracaktır.
- Tek bir 3D yazıcı birçok şekle dönüşebilir. Geleneksel imalat makineleri çok daha az çok yönlüdür ve yalnızca işleri sınırlı bir spektrumda yapabilirsiniz. 3D baskı, insan makine mühendislerini yeniden eğitmek veya fabrika makinelerini yeniden teçhiz etmekle ilişkili genel masrafları ortadan kaldırır. Tek bir 3D yazıcının yalnızca farklı bir dijital plana ve hammaddeye ihtiyacı vardır.
- Toplu üretim, montaj hattının omurgası üzerine inşa edilmiştir. Modern fabrikalardaki makineler, daha sonra robotlar ya da insan çalışanları, bazen de kıtalar tarafından birleştirilen aynı nesnelere üretir. Bir üründe ne kadar fazla parça varsa, o kadar uzun süre toplanacak ve daha pahalı hale gelecektir. Nesnelere tabakalaştırarak bir 3D yazıcı, aynı anda bir kapı ve bağlı menteşeleri basabilir, montaj gerektirmez. Daha az montaj, tedarik zincirlerini kısaltır, emek ve ulaşımda tasarruf sağlar;
- Bir 3D yazıcı, bir nesneye ihtiyaç duyulduğunda isteğe bağlı olarak yazdırabilir. Yerinde üretim kapasitesi, şirketlerin fiziksel envanter stoklamasına olan ihtiyacı azaltır. Üç boyutlu yazıcılar, bir işletmenin müşteri siparişlerine yanıt olarak talep üzerine özel veya özel objeler yapmasına olanak tanıdığından, yeni türde ticari hizmetler mümkün hale gelir.
- Geleneksel imalat teknolojilerinde farklı tasarımda şekiller oluşturma kapasitemiz, elimizdeki araçlar sayesinde sınırlıdır. Örneğin, geleneksel bir ahşap torna tezgahı sadece yuvarlak nesnelere üretebilir. Değirmen, bir freze aleti ile erişilebilen parçaları yalnızca üretebilir. Bir kalıplama makinesi sadece kalıplara dökülebilen ve daha sonra bir kalıptan çıkarılan şekilleri üretebilir. Bir 3D yazıcı bu engelleri kaldırır ve geniş yeni tasarım alanlarını açar. Bir yazıcı şimdiye kadar sadece doğada mümkün olan şekilleri imal edebilir.
- Bir 3D yazıcı rehberliğinin çoğunu bir tasarım dosyasından alır. Eşit bir karmaşıklığa sahip bir nesne yapmak için bir 3D yazıcı, bir püskürtmeli kalıplama makinesinden daha az operatör kabiliyeti gerektirir.
- Bir üretim biriminin hacmine göre, bir 3D yazıcı geleneksel bir imalat makinesinden daha fazla üretim kapasitesine sahiptir. Örneğin, bir püskürtmeli kalıplama makinesi yalnızca nesnelere kendi başına daha küçük hale getirebilir. Buna karşılık, bir 3D yazıcı nesnelere baskı yatağı kadar geniş yapabilir. Bir 3D yazıcı ayarlanmışsa, yazdırma aygıtı serbestçe hareket edebilir, bir 3D yazıcı kendi kendinden daha büyük nesnelere üretebilir.
- Daha az atık yan ürün. Metal içinde çalışan 3D yazıcılar, geleneksel metal üretim tekniklerine göre daha az atık üretirler.
- Farklı hammaddeleri tek bir üründe birleştirmek günümüz imalat makinelerini kullanarak zordur. Geleneksel imalat makineleri, parçaları parçalayarak, keserek veya kalıba döktüğünden, bu işlemler

farklı hammaddeleri kolayca karıştırılmaz. Çok malzemeli 3D baskı geliştikçe, farklı hammaddeleri harmanlayıp karıştırma kapasitesini kazanılacaktır.

- Hassas fiziksel replikasyon. Bir dijital müzik dosyası, ses kalitesini kaybetmeden sonsuza kadar kopyalanabilir. Gelecekte 3D baskı bu dijital hassaslığı fiziksel nesnelerin dünyasına genişletecek. Tarama teknolojisi ve 3D baskı, birlikte fiziksel ve dijital dünyalar arasında yüksek çözünürlüklü şekil değiştirmeyi getirecektir.

Eğitimde 3D Yazıcı Teknolojisi

3 boyutlu (3D) yazıcı teknolojisini birçok alanda kullanmak mümkün. Endüstriyel imalat, tıp ve sağlık, havacılık ve uzay, mimarlık ve inşaat, askeri uygulamalar, tekstil, gıda, eğitim ve diğer birçok alan buna örnek olarak verilebilir. Eğitim başlığı 3 boyutlu (3D) yazıcılar için stratejik bir öneme sahiptir. İnteraktif olarak geçen, mekanik ve teknik derslerdeki yaratıcılığın artırılmasında önemli bir araç olarak görülmektedir. Bu teknolojinin eğitim ortamında etkin bir şekilde kullanımı ile çok farklı alanlarda farklı deneyimler yaşanabilmektedir. İlköğretimden üniversiteye kadar, okullar kullanılan 3D yazıcılar güven arttıran ve öğrencilerin hayal gücünü arttıran yeni ve yeni öğrenme fırsatları sunan bir teknolojidir. Bu teknoloji eleştirel düşünme açısından paradigmayı değiştirirken, öğrencileri mantık ve mantık kullanarak sorunları çözen fiziksel nesnelere yaratma yetkisi vermektedir. Etkileşimli, mekanik ve teknik dersler oluşturmak için bazı okullarda 3D baskı teknolojileri kullanılmaktadır. Bu, genç akıllara ilham vererek ve öğrenmeyi daha eğlenceli hale getirmektedir. Mimarlık eğitimi, sanat eğitimi, biyoloji eğitimi, kimya eğitimi, jeoloji eğitimi, tarih eğitimi, matematik eğitimi, bilim ve mühendislik eğitimi gibi alanlarda 3D yazıcı teknolojilerinin kullanımı görülmektedir.

1950'lerde yaygın olarak tepegöz ve slaytlar üzerinden anlatılan matematik, fizik vb. dersler, 1970'lerin ortalarına gelindiğinde yeni teknolojiler ile farklı bir öğrenme yapısına kavuşmuştur. Günümüze değin gelişerek devam eden bilgisayar, projeksiyon vb. teknolojilerin yanına artık eğitim alanı için yeni bir teknoloji olan 3D yazıcılar da dahil olmuştur.

3D baskı, özellikle havacılık ve savunma sektörleri ile popüler olan prototipleme ve üretim için iyi kurulmuş bir endüstriyel teknolojidir. Eklemeli imalat olarak da bilinen 3D baskı, katı bir 3D nesnenin dijital bilgisayar destekli tasarım (CAD) dosyasından yapılması işlemidir. Yazıcı, son nesne oluşturuluncaya kadar art arda malzeme katmanları ekler. CNC vb. teknolojilerde katı bir bloktan parça uzaklaştırma prensibi kullanılırken 3D yazmada tam tersine üst üste katı ekleme prensibi ile üretim yapılmaktadır. 3D yazma sürecinde, minimum atık malzeme ile hızlı bir üretim, tasarım esnekliği ve kullanıcıların düşük maliyetle tasarım nesnelere üretebilmelerine olanak vermektedir. Günümüzde özellikle Avrupa'daki okulların birçoğu 3D baskı projeleri geliştirmekte ve bu da öğrencilerin ders motivasyonunu arttırmaktadır.

3D yazıcıların yeni teknolojiler ve daha az maliyetle üretilmesiyle kullanım alanında büyük bir gelişme yaşanmıştır. Büyük miktarda yatırım yapmadan yaklaşık 300 dolar gibi bir fiyatla okulların bu teknolojiyi eğitim materyalleri arasına katması artık mümkün. Bu gelişme ile öğretmenlere ve diğer eğitim profesyonellerine etkin bir araç kazandırmıştır. Öğretmenler artık tasarım yazılımı indirebilir ve tabletler ve cep telefonları aracılığıyla erişebilir, öğrencileriyle beraber tasarım yapabilir ve bunu 3D olarak yazdırabilirler. Bu uygulamalar tasarım platformlarını kullanarak öğrencilerin öğrenme sürecini ve becerilerini geliştirir.

3D baskıyı bir üretim yöntemi olarak kullanmak, öğrencilerin bir fikri kavramından fiziksel bir nesneye nispeten kolaylıkla geçmelerini sağlar. Fiziksel bir nesneyi sorgulamak, öğrencilerin tasarımlardaki hataları tespit etmelerini kolaylaştırabilir. Bu onların yaratıcı, pratik bir şekilde değerli problem çözme becerilerini kazanmalarını sağlar; Prototipleri bastırma yeteneği olmadan, öğrencilerin tasarımlarındaki zayıflıkları tespit etmeleri ve bunları geliştirmeleri çok daha zor olacaktır.

Literatür Araştırması

Daha önce "Hızlı Prototipleme" olarak bilinen 3D baskı, 1990'lardan beri tasarımla ilgili dersleri geliştirmek için mühendislik eğitiminde kullanılmıştır (Zeher 1998). Yıllar geçtikçe, yavaş yavaş birinci sınıf tasarım ve taslak hazırlama dersleri ile üst düzey capstone projeleri için tasarım ve imalat müfredatının önemli bir bileşeni haline gelmiştir. (Stamper ve ark., 2000, Lantada ve ark., 2010). 3D baskının mühendislik eğitiminde bu kadar popüler hale gelmesinin başlıca nedeni, geleneksel işleme süreçlerine kıyasla operasyonunun basit olması ve öğrenme deneyimini önemli derecede etkileyen spontan sonuçlar vermesidir (Stamper ve ark., 2000, Maletsky ve ark.,

2003). Literatürden 3D baskının görselleştirme, gerçek dünya uygulamalarını sunma ve kuramlar ile uygulamalar arasındaki boşluğu kapatmada yararlı olduğu gözlemlenmiştir (Johnson ve ark., 2009, Kim ve ark., 2004). Bu tasarımlar, CNC değirmeni veya torna tezgahı gibi geleneksel işleme yöntemleri kullanılarak üretilmesi zor olan karmaşık geometrik yapıları içerir. 3D baskı ile, prototipler kolayca imal edilebilir ve öğrenci projeleri makul zaman aralığı ve bütçe aralığı içerisinde tamamlanabilir.

Serbest dolum kabiliyeti ve yakın zamanda temin edilebilen çok malzemeli işlemler, kullanım kolaylığına ek olarak, mühendislik uygulamaları ve diğer bazı alanlar için yeni bir pencere açmakta. Üretilebilirliğin geleneksel görüşü bu yeni teknoloji tarafından sorgulanmaktadır. 3D taramanın yanı sıra, 3D baskının imalat eğitiminde "yeni bir sınır" tanımladığı düşünülmektedir (Sinha, 2009).

Mühendislik eğitmenlerinin erişimde böylesine canlı bir teknolojiye sahip olmaları büyük bir avantaj. Fakat bazı durumlarda, öğrenciler makinelerin yeteneğinin ötesinde şeyler tasarlayabildiğinden, öğrenci projeleri başarısız olabilmekte. Wan ve Syed (2012), boyutsal, fonksiyonel, operasyonel ve ekonomik konularda 3D baskı kullanma konusundaki bu problemleri özetlemişlerdir. Bu nedenle, mühendislikte eğitimcilerin, öğrencileri yeni teknolojiyi kullanmaya hazırlaması gerekmektedir. (Wan, 2015).

ABD Michigan'da bir grup eğitici, açık kaynaklı 3D baskının nasıl uygulanabileceğini öğrenmek ve özellikle bilim, mühendislik, teknoloji ve matematik alanlarında müfredatı iyileştirmek için bir atölye çalışması yapmıştır (Schelly ve ark., 2015). Kuzey Carolina'daki bir lisede bir STEM programı, biyoloji ve mühendislik deneylerle "cep telefonu kameraları için mikroskop adaptörleri tasarlama ve yazma", "roketler için robotik ve elemanlar tasarım ve baskı" gibi konularda çalışmalar yapmıştır (Hathcock, 2014).

Virginia'daki bir orta okuldaki sekizinci sınıf öğrencileri, elektrik konusundaki bir dersin parçası olarak konuşmacılar için üç boyutlu bas ve konileri tasarlamıştır (Virginia Middle Schoolers, 2014). Bu dersler öğrencileri ileri imalat sanayinde işlere hazırlamak amacıyla düzenlenmiştir.

Çin'de bir grup araştırmacı, 10 yaşındaki öğrencilerin mekansal yeteneklerini incelemek için bir 3D baskı kursu düzenlemiş, öğrencilerin zihinsel rotasyon becerilerini belirlemek için bir ön test çalışması yapmıştır. Daha sonra, deney grubuna Google'ın SketchUp ve 3D yazıcıdaki baskı modelleri gibi 3D araçların kullanımı konusundaki yedi aylık bir ders verilmiştir. Sonuçlar "kızların gelişimi mekansal yeteneklerinin erkeklerinkinden daha hızlı olduğunu" ve 3D baskı kursunun erkeklerin zihinsel dönüş yeteneğini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir (Chen ve ark., 2014).

Yunanistan'da iki lisede 33 öğrenciden oluşan bir grubun kör çocukların görme engeli yazıları olan eserler oluşturmasını ve kör ve kör olmayan öğrenciler arasındaki iletişimi güçlendirmesi ve eğitimi amacıyla 3D baskıyı denemişlerdir (Kostakis ve ark., 2015).

Sonuç ve Öneriler

3D baskı teknolojileri günümüz dünyasında kilit öneme sahip bir konuma gelmektedir. Bu çalışmada endüstriyel imalat, tıp ve sağlık, havacılık ve uzay, mimarlık ve inşaat, askeri uygulamalar, tekstil, gıda, eğitim ve diğer birçok alanda kullanılan bu teknolojinin eğitim alanındaki çalışmaları incelenmiştir. Eğitim başlığı altındaki çalışma ile 3D baskı teknolojisinin hem eğitim sürecinde hem de eğitim sonrası iş hayatında önemli avantajlar getirebileceği öngörülmüştür. Henüz çok yaygın olmaması nedeniyle bu teknolojinin eğitim alanında daha etkin kullanılmasının yolları aranmalıdır. Sonuç olarak eğitim politikalarının bu yeni teknolojiye uygun hale getirilmesi ve eğitim içeriklerinin bu teknolojilerle daha entegre bir yapıya dönüştürülmesi ile eğitim verimliliğinin artırılabilirliği önerilmektedir.

Düşen ilk yatırım maliyetleri sayesinde bu teknolojinin yaygın kullanımının artması ile eğitimci ve öğrenci arasındaki etkileşim daha da artacak ve öğrencilerin fikri kavramlarının elle tutulur nesnelere dönüşmesi ile yaratıcılık ve yenilikçi düşünce yeteneği kazanmaları kolaylaşacaktır.

Kaynaklar

Wan H., 2015, Proceedings of the 2015 ASEE Gulf-Southwest Annual Conference, 3D Printing for Engineering Students – Understanding and Misunderstanding, American Society for Engineering Education

- Zecher, J., 1998, "Integration of a Rapid Prototyping System in a MET Curriculum," Proceedings of 1998 ASEE Annual Conference & Exposition, Session 3549.
- Stamper, R. E. and Dekker, D. L., 2000, "Utilizing Rapid Prototyping to Enhance Undergraduate Engineering Education," Proceedings of the 30th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, Session F3C, pp.1-4.
- Lantada, A. D., Morgado, P. L., Sanz, J. L. M., Munoz-Guijosa, J. M., and Otero, J. E., 2010, "Toy Design Experience: Improving Students' Motivation and Results in a Final Year Subject," Proceedings of 2010 IEEE Education Engineering (EDUCON), pp.1481-1487.
- Maletsky, L. P. and Hale, R. D., 2003, "The Practical Integration of Rapid Prototyping Technology into Engineering Curricula," Proceedings of 2003 ASEE Midwest Section Meeting.
- Johnson, W. M., Coates, C. W., Hager, P., and Stevens, N., 2009, "Employing Rapid Prototyping in a First-Year Engineering Graphics Course," Proceedings of 2009 ASEE Southeast Section Conference.
- Kim, I. Y., De Weck, O., Nadir, W., Young, P., and Wallace, D., 2004, "Innovative Modern Engineering Design and Rapid Prototyping Course: A Rewarding CAD/CAE/CAM Experience for Undergraduates," Proceedings of 2004 ASEE Annual Conference & Exposition, Session 332.
- Sinha, A., 2009, "New Frontiers in Manufacturing Education: Rapid Prototyping, 3D Scanning and Reverse Engineering," Proceedings of 2009 ASEE Southeast Section Conference.
- Wan, H. and Syed, F.A., 2012, "Preparing to Use Rapid Prototyping: Lessons Learned from Design and Manufacturing Projects," 2012 ASEE Annual Conference & Exposition, June 10-13, San Antonio, TX.
- Rachael E. Elrod, (2016) "Classroom innovation through 3D printing", Library Hi Tech News, Vol. 33 Issue: 3, pp.5-7.
- Chen, M., Zhang, Y. and Zhang, Y. (2014), "Effects of a 3D printing course on mental rotation ability among 10-year-old primary students", International Journal Of Psychophysiology, Vol. 94 No. 2, p. 240.
- Hathcock, L. (2014), "A look inside a high school MakerSpace lab", <http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA392304104&v=2.1&u=gain40375&it=r&p=&sw=w&asid=690302ac6ee8dab1187a4946d1f876bb>
- Kostakis, V., Niaros, V. and Giotitsas, C. (2015), "Open source 3D printing as a means of learning: an educational experiment in two high schools in Greece", Telematics & Informatics, Vol. 32 No. 1, pp. 118-128, (accessed 20 October 2015).
- Schelly, C., Anzalone, G., Wijnen, B. And Pearce, J. (2015), "Open-source 3-D printing technologies for education: bringing additive manufacturing to the classroom", Journal Of Visual Languages & Computing, Vol. 28, pp. 226-237.
- Virginia Middle Schoolers (2014), "Virginia middle schoolers make electricity real", Teaching & Learning, Vol. 35 No. 2, p. 24.

Yazar Bilgileri

Serhan Kökhan

Gazi Üniversitesi
Ankara

İrtibat yazar e-posta: serhankokhan@gazi.edu.tr

Uğur Özcan

Gazi Üniversitesi
Ankara