

ÜÇ BOYUTLU YAZICI TASARIMLARI, PROTOTİPLERİ VE ÜRÜN YAZDIRMA KARŞILAŞTIRMALARI

Derya ÇELİK¹ Kerim ÇETİNKAYA²

¹ Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, TÜRKİYE

² Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, 78050, Karabük, TÜRKİYE
celikdeerya@hotmail.com

Özet- Bu çalışmada geleneksel yöntemler kullanılarak üretilmiş bir üç boyutlu yazıcı referans alınarak yeni bir üç boyutlu yazıcı prototipi geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerle üretilmiş üç boyutlu yazıcı bağlantı parçalarının ölçüleri baz alınarak yeni bağlantı parçaları tasarlanmıştır. Tasarlanan bu bağlantı parçaları geleneksel üç boyutlu yazıcıdan bastırılarak yeni üç boyutlu yazıcının üretiminde kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada yapılmış üç boyutlu yazıcı ile amatör olarak yapılan üç boyutlu yazıcılar karşılaştırılmıştır. ABS ve PLA'dan üç boyutlu yazdırılan gözlük numunelerinin çekme dayanımları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler- 3 Boyutlu yazıcı, ABS ve PLA filamentleri, Tersine mühendislik.

THREE DIMENSIONAL PRINTER DESIGN, PROTOTYPES AND PRINTING PRODUCTS COMPARISON

Abstract- A new 3D Printer prototype has been developed based on a 3D printer which was produced by using traditional methods. The new connection parts have been designed, based on the size of 3D Printer connection parts. The connection parts which have been designed by using traditional 3D printers, have been printed and used on producing the new 3D Printer. The 3D Printer made for this study, has been compared with the 3D Printers which were made unprofessionally. Tensile strength value of the sample glasses, which were printed by ABS and PLA materials, have been measured and compared.

Key Words- 3 Dimensional printer, ABS and PLA flaments, Reverse engineering.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üç boyutlu yazdırma, dijital ortamda hazırlanan üç boyutlu dosyadan (CAD çizimleri) üç boyutlu katı nesnelere üretme sürecidir. Bu işlemleri gerçekleştiren makineler üç boyutlu yazıcı olarak adlandırılır. Üç boyutlu model, bilgisayar ortamında dilimlenerek katmanlara ayrılır ve bu katmanlar üç boyutlu yazıcı ile baskı esnasında ergitilen malzeme üst üste gelecek şekilde yazdırılarak somut nesnelere haline dönüştürülür. 3 boyutlu yazıcı teknolojileri katmanları üst

üste yığıma tekniği ile çalışmaktadır. Fakat bu katmanları oluşturma yöntemleri farklılık gösterebilir. Bu yöntemlerden en yaygın olarak bilineni plastik malzemenin ergitilerek katı nesnelere oluşturanlarıdır [1].

Üç boyutlu yazıcı teknolojileri yeni bir ürün tasarlayıp geliştirme süreçlerinde meydana gelebilecek olan problemleri önceden görülmesini sağlayarak bu gibi problemlere üretilecek çözüm yollarını hızlandırmaktadır. Dijital ortamda çizilmiş olan tüm tasarımların seri üretime geçme aşamasından önce prototiplerinin hazırlanıp, gerekli testlerden geçirilmesi gerekmektedir. Geleneksel yöntemlerle prototip hazırlama süreci hem maliyetli hem de oldukça zaman alıcı faaliyetleri kapsamaktadır. Oysa üç boyutlu yazıcılar sayesinde istenilen prototipler saatler içerisinde üretilebilir.

Üç boyutlu yazıcılar ilk olarak 1970'li senelerin sonlarına doğru bilim dünyasının gündemine yerleşmeye başlamıştır. O yıllarda boyutsal anlamda çok büyük olup oldukça pahalı makinelerdi. İlk üç boyutlu yazıcı Charles Hull tarafından 1984 yılında üretilmiştir. 1986 yılında üç boyutlu yazıcılar için ilk şirket kurulmuştur. 1988 yılında kurulan bu şirket tarafından geliştirilen SLA-250 adında ilk üç boyutlu yazıcı tanıtılmıştır. Ve yine aynı yıl içerisinde Selective Laser Sintering (SLS) ve Fused Deposition Modelling (FDM) teknolojileri keşfedilmiştir. İlk renkli baskılar bu yazıcılarda üretilmiştir. 1995 yılında üç boyutlu yazıcıların satışı yapılmaya başlandı. 1996 yılında Z Corporation yüksek çözünürlüğe sahip ürünler üreten ilk üç boyutlu yazıcıyı tasarladı. 2007 yılında Reprap adıyla ilk açık kaynak kodlu yazıcılar piyasaya çıkmaya başladı. Dolayısıyla üç boyutlu yazıcıları geliştirme imkanı hızla arttı. 2008 yılında Object Geometries şirketi, Connex500 ile aynı anda farklı malzemeler kullanarak ürün üretebildi. 2009 yılından itibaren Makerbot ve 3D Systems'in geliştirmiş olduğu Cubify gibi modeller sayesinde ev tipi üç boyutlu yazıcıların satışları giderek artmıştır [1].

Problem ; Geleneksel yöntemlerle parça üretme süreci hem maliyetli hem de oldukça zaman alıcı faaliyetleri kapsamaktadır. Bu faaliyetler içerisinde freze, torna gibi çeşitli tezgahların kullanımı söz konusudur. Bu çalışmada geleneksel imalat yöntemlerine ihtiyaç duymadan mümkün olan en kısa zamanda gerekli parçaların üretilmesi ve maliyetlerin minimuma çekilmesi hedeflenmiştir. Geleneksel yollarla üretilmiş bağlantı parçaları kullanılarak yapılmış bir üç boyutlu yazıcının üzerinden bağlantı parçalarının ölçüleri baz alınarak, yeni bağlantı parçaları tasarlanıp daha az maliyetli olacak şekilde üç boyutlu yazıcıdan yazdırılması planlanmıştır. Yeni bağlantı parçaları geleneksel üç boyutlu yazıcıda üretilerek yeni üç boyutlu yazıcıda kullanılmıştır. Böylece geleneksel üretim metodlarına daha az ihtiyaç duyularak 3 boyutlu yazıcı üretimi yapılmıştır.

Çalışma ; Plastik ürün için üç boyutlu yazıcı tasarımı, Plastik ürün için üç boyutlu yazıcı prototipi, Plastik ürün için üç boyutlu yazıcı kontrolü, Ürün tasarım programlarının tanıtımı ve program seçimi, Plastik ürün için üç boyutlu yazıcı performans analizleri (çekme dayanımı) kapsamaktadır.

Beklenenler ; Plastik ürünler için üç boyutlu yazıcıların tasarım ve inşası, Plastik ürünler için üç boyutlu yazıcıların elektronik bağlantıları, Plastik ürünler için üç boyutlu yazıcıların kontrolü, Üç boyutlu yazıcılarda üretim için plastik ürünlerin tasarımı, Üç boyutlu yazıcılarda plastik ürünlerin üretimi, Tersine mühendisliği üç boyutlu yazıcılarda uygulama, Farklı üç boyutlu yazıcılarda aynı ürünleri üretme ve test etme.

1.1. Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojileri (Three-Dimensional Printer Technology)

Üç boyutlu yazdırma işlemini gerçekleştirmek için ilk olarak imal edilecek parça ya da parçaların üç boyutlu tasarım programlarında veya üç boyutlu tarama sistemleri yardımıyla bilgisayar verisi oluşturulur. Modeli oluşturulan parça genellikle STL uzantılı dosya olarak

kaydedilir ve üç boyutlu yazıcı kontrol programına aktarılır. Model üç boyutlu yazıcı kontrol programında dilimlenerek katmanlara ayrılır ve “G kodu” dosyası oluşturulur. Daha sonra “G kodu” dosyası üç boyutlu yazıcıya hafıza kartı yardımıyla veya doğrudan bilgisayar bağlantısıyla aktarılarak baskı işlemi gerçekleştirilir. Üç boyutlu yazdırma işleminde nesne katmanlar halinde üst üste serilerek meydana getirilir. Bu katmanları oluşturmak için farklı yöntemler kullanılabilir. Bunlar plastik ergitme, lazer sinterleme, sterolitografi gibi yöntemlerdir [2]. Üç boyutlu yazıcıların kartezyen yazıcı, delta yazıcı ve core xy yazıcı gibi çeşitleri bulunmaktadır. Kartezyen mantığında çalışan üç boyutlu yazıcılar genellikle bilgisayar kontrollü xyz kartezyen platformuna bağlanmış termoplastik püskürtücüden oluşurlar [3,4]. Delta yazıcıları diğer yazıcılardan ayıran temel fark, dikey Z eksenindeki hareketi sağlamak için üç yerden birer step motor ile tahrik edilmesidir. Bunun sebebi delta yazıcıların üçgen biçiminde olan şekillerinden kaynaklanmaktadır [5]. Core XY mantığıyla çalışan üç boyutlu yazıcılarda X ve Y eksen hareketi kayış kasnaklar yardımıyla gerçekleşmektedir [6,7]. Günümüzde ham maddesi metal olan üç boyutlu yazıcılar da bulunmaktadır. Ancak bu yazıcılar maliyet açısından oldukça pahalı olduklarından şimdilik büyük firmalar tarafından kullanılmaktadır. [8-12].

1.2. Üç Boyutlu Yazıcıda Kullanılan Malzemeler (Materials Used in Three-Dimensional Printer)

Üç boyutlu yazıcılarda yaygın bir şekilde kullanılan malzemelerin başında ABS ve PLA malzemeleri gelmektedir. ABS plastik (Akrilonitril Butadin Stiren), sert bir termoplastik polimerdir. ABS yüksek dayanım ve darbe direnci nedeniyle üç boyutlu yazıcılarda sıkça tercih edilen bir malzeme türüdür [13]. PLA Polilaktik Asit ise şu anki istatistiklere göre en çok kullanılan üç boyutlu yazıcı malzemesidir. Bu malzemenin tercih etmesinin başlıca sebebi düşük sıcaklıklarda eriyebilmesinden dolayı kolay çalışılabilir olmasıdır[8].

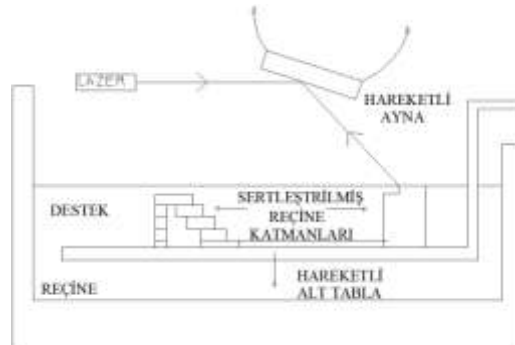
Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde faaliyet gösteren “Makergeeks” firmasına ait 3B Filament malzeme listesi; - Ninjaflex PLA, - Easyfil PLA Filaments [14]. Çin’de faaliyet gösteren “Esun3d” firmasına ait 3B Filament malzeme listeleri; - Color change (Renk Değiştiren), - PETG, - PLA, - ABS, - HIPS, - PVA, - PC, - Luminous (Parlak) [15]. Hollanda’da faaliyet gösteren “formfutura” firmasına ait 3B Filament malzeme listeleri; EasyFil PLA, Premium PLA, EasyFil ABS, Premium ABS, ABSpro, ClearScent ABS EasyFil HIPS, FlexiFil-Flexible TPC (Esnek TPC) [16]. Polonya’da faaliyet gösteren “marwiol” firmasına ait 3B Filament malzeme listeleri; ABS 1.75mm / 3.00mm, PLA 1.75 / 3.00mm, Guma 1.75 / 3.00mm, HIPS 1.75 / 3.00mm, PC (Poliweglan), TPE (Elastomer term), Lay-Brick, LayWoo-d3, LayFomm, PVA, PET, BendLay, Nylon (Naylon) [17].

1.4. Geçmişten Geleceğe Bakış (History and Future Perspective's)

Gelecekte üç boyutlu yazıcıların kullanımı yaygınlaştıkça maliyetleri de giderek azalacaktır. Üç boyutlu yazıcı maliyetlerinin düşmesiyle beraber hemen hemen her eve girmeye başlayacaktır[18]. Tıp alanında ise doğrudan, hastalara özel hammaddesi seramik olan protez imalatı gerçekleştirilebilecektir[10]. Yakın gelecekte metal hammadde kullanan üç boyutlu yazıcıların sayısı ve üretim hassasiyeti hızla artacaktır[11,19]. Mikro düzeyde üretim teknolojisi sayesinde biyoteknoloji ve medikal uygulama alanlarında artış olacağı tahmin edilmektedir [2,20,21]. Stereolitografi (SLA) işleminde, bir fiçı içine ışık ile serleştirilebilen sıvı reçine yüzeyi üzerine bir lazer ışınına odaklanır. Bu durumda, lazer ışını bir mor ötesi ışını olan 3D modelini oluşturuncaya kadar bir seferde bir katman çizer, ve kür ya da reçine sağlaştırılır [2]. SLS teknolojisi bir lazer yardımıyla toz halindeki malzemeyi katmanlar halinde birleştirerek üç boyutlu hale getirir[2,13]. Üç boyutlu yazıcıların tıp mühendisliğine olan faydasını değerlendirmek için MR uyumlu bileşenleri oluşturan düşük bütçeli 3 boyutlu baskı teknolojisi test edilmiştir. Bunun için klasik bir 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır [3]. Üç boyutlu yazıcı ile

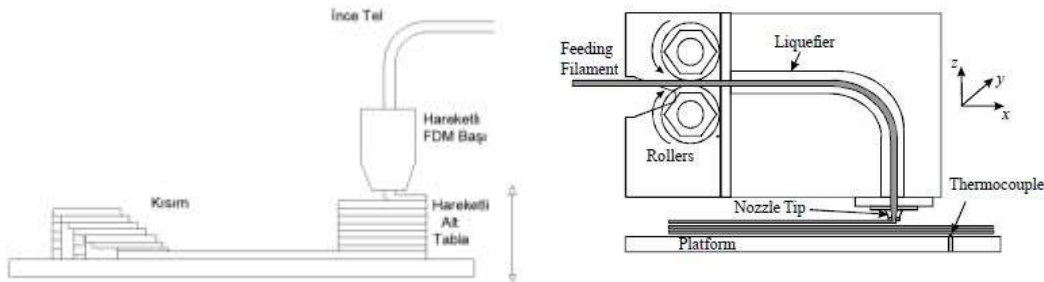
fare üzerinde deneylerin gerçekleştirilebilmesi için parçalar basılmıştır. Bu parçaların birleştirilip deney düzeneğinin kurulmuştur[3]. Bilek ortezi tasarım sürecinin pilot çalışması yapılmıştır[20]. Hızlı prototipleme yardımı ile cerrahi planlama ve tersine mühendislik kullanılarak özel implant tasarımı yapılmıştır [21,22]. Ultrasondan gelen görüntüleri hızlı prototipleme süreci ile üç boyutlu fiziksel hale getirme çalışması yapılmıştır [23]. Hızlı prototipleme ile üretimin dünyadaki geleceği hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Hızlı prototipleme, sanayiye ve çeşitli alanlardaki firmalara hızla kalkınıp gelişeceği imkanlar sunacağı öngörülmüştür [24,25].

1994 yılında “Daytoni Ohio” konferansına katılan liderlerin hızlı prototipleme teknolojisi hakkındaki görüşlerine yer verilmiştir [26]. Üç boyutlu prototipleme (SLA): RP teknolojileri arasında en popülerleri belki stereolitografidir. Bu teknoloji ışıkla monomer reçinesi üzerinde dayanır. Bu işlemde bir polimer oluşturulur ve ultraviyole ışığa (UV) maruz kaldığında katılaşır (Şekil 1) [27].



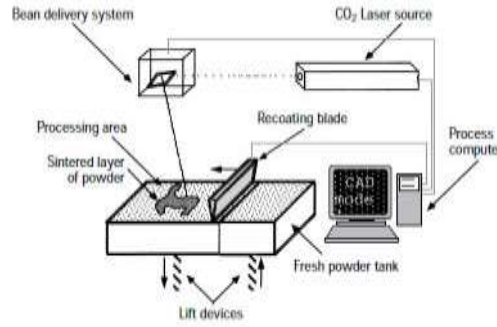
Şekil 1. Stereolitografi (Stereolithography) [27]

Erimiş birikim modelleme (FDM): FDM makinesi, alt-tabaka üzerine bir iplik halinde erimiş malzemenin hareket edebilen bir kafa içinden geçerek akmasıdır. Akıtılan malzeme katmanlar olarak tablaya akıtılır (Şekil 2) ve yaklaşık 0.1 saniyede katılaşır [13,27].



Şekil Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.. FDM işlemi şematik gösterimi (Schematic representation of the FDM process) [22,27]

3D Baskı teknolojisi ile ilgili bazı güçlüklerin üstesinden gelme yolları da tartışılmıştır [30]. Burada hızlı prototipleme yöntemi olarak SLS (Selective laser sintering) yöntemine değinilmiştir (Şekil 3). Hızlı prototipleme sayesinde üretimin hız kazanmış olması ve maliyetlerin azaltıldığı anlatılmıştır [31].



Şekil 3. SLS ekipmanının şematik gösterimi (Schematic representation of the SLS equipment)

2001 yılında yapılan çalışmada ekstrüzyon bazlı LM işlemi için Akıllı takım yolu çıkarma işlemi anlatılmıştır [19,32]. 2001 yılında yapılan konferansta sanat ve kavramsal tasarım için hızlı prototiplemenin etkisi ve hızlı prototiplemenin geleceği tartışılmıştır [33]. Mimari için hızlı tasarım ve üretim araçları anlatılmıştır [34]. 1999 ve 2003 yıllarında Hızlı prototipleme ve atölye bazlı teknikler kullanılarak üretilen endüstriyel tasarım modellerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir [35]. RP ve RT teknolojilere göre ürününün hızlı bir şekilde tasarımı ve üretimi için bir iki sistem bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi yeni bir ürün geliştirmek için sıfırdan tasarım yaparak imal etmektir. Bir diğeri ise yeni bir ürün geliştirmek için tersine mühendislik uygulamaktır [36,37,38]. Evrimsel ürün tasarımlarının fonksiyonel olarak değerlendirilmesinde hızlı prototipleme teknolojisinin kullanımı anlatılmıştır [39]. Üç hızlı prototipleme süreçlerinin basınç dayanımları imal edilmiştir ölçmek için numuneler, ve çoğu anizotropik basınç özelliklerini göstermiştir [40-41]. İnsan kemik kalıntıları arkeoloji için çok önemlidir. Kemiklerin incelenmesi insanın yaşı ve cinsi hakkında bilgi verir. İlk olarak iskelet bulguları kırılma durumundan dolayı elle tutulmayı sınırlamaktadır. İkinci olarak ender olan bu kalıntıların zarar görmesine engel olarak iki parçanın birleştirilmesidir. Lazer ile taranan kafatasının 3B modeli oluşturulmuştur. Bu dijital modelden başlayarak, ideal bir simetriye göre kafatasından eksik parçası sanal ortamda yeniden düzenlendi. Bilgisayar destekli tasarım ortam içerisine erişti ve son olarak hızlı teknik tasarım ile üretildi [42,43]. Üç boyutlu olarak basılan parçaların malzeme özellikleri (mukavemet ve aşınma) ölçülmüştür [44]. Ham haldeki cam malzemesi kullanılarak basılan parça ile geri dönüşümlü cam malzemesi kullanılarak basılan parçalar karşılaştırılmıştır [45,46]. Plastik yapıya dayalı tasarım ve imalatı cubesat platformu ile açıklamaktadır. Çalışmanın amacı mikro kameralar gibi potansiyel havacılık araştırma uygulamaları, test edilecek elektronik bileşenler ve uzay hava izleme sensörleri için uygun farklı olası nano yükleri, uyumu kolay, çok amaçlı, düşük maliyetli CubeSat platformu gerçekleştirmektir [47]. SLS kullanılarak negatif sertlikteki elemanların tasarımı, imalatı, ve değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir [48]. Yapılan çalışmaların bazılarında birden fazla malzeme kullanılarak üç boyutlu baskı yapabilme çalışması anlatılmıştır [49,50]. Bilim kurgu yazarları da dahil olmak üzere bir çok eleştirmenin farkına varmakta olduğu şey, hızlı prototiplendirme (modellendirme) ve 3d baskının birçok nihai ürünün yapımına anlık baskı makinaları ile üreticiye hazır hale getirilmesi durumudur. Bir çalışmada 3d baskının potansiyel ekonomik ve sosyal sonuçlarını görüntülemek için kurgusal ve özgül olarak gösterilmiştir. Bilim Kurgusal prototipleme geleceğin planlanmasında ve eyleme geçirilmesinde çok güçlü bir araçtır [51]. 2013 yılında poli metil metakrilat'a dayalı yeni bir 3D baskı işlemi değerlendirilmiştir [52]. 3 boyutlu olarak basılan ucuz ve hızla sertleştirilip katı hale gelebilen ürünler, 3 boyutlu baskıyı modern kültürlerde bir devir değişikliği meydana getirmeye sürüklemiştir [53]. Tersine mühendislik önceden var olan nesneden yararlanarak, ona benzer yeni bir ürün imal edilebilir. Bu amaçla araçların ses düğmesinin tersine mühendislik kullanılarak yeniden tasarlanıp imal edilmesi anlatılmaktadır [54].

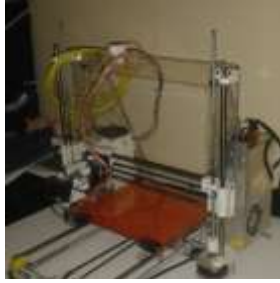
ABS ve PLA plastikten basılan deney test numunelerinin aynı doluluk oranında olan parçaların karşılaştırılması verilmiş olup, ABS plastik ortalama 30,8522 N/mm²'lik ve PLA plastiğin

ortalama 49,0246 N/mm²'lik çekme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak PLA plastiğin dayanımı %100 doluluk oranında ABS plastiğe göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun nedeninin basım sıcaklığından ve baskı kalitesinden kaynaklandığı öngörülmüştür [55].

1.5. Amatör Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımları ve Prototipleri (Amateur Three-Dimensional Printer Design and Prototypes)

Karabük Üniversitesi'nde öğrenciler tarafından yapılan ve sergilenen üç boyutlu yazıcı tasarımları, prototipleri bu bölümde tanıtılmıştır.

Prusa tipi i3 tabla ısıtılmalı 4 adet üç boyutlu yazıcı ve özellikleri verilmiştir. Çalışmaya; Muzaffer Taşdelen, Mehmet Türkeş ve Mustafa Birol, Taner Babalıtaş, Emre Özel ve Neşet Kaygısız, Mevlüde Aydın, Neziha Kandemir ve Sibel Göktaş, Adem Gür, Fetullah Kazma ve Zeynep Odabaş katılmıştır (Şekil 4-7.).

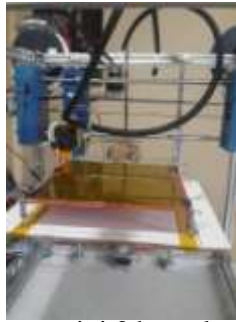


Şekil 4. Prusa tabla ısıtılmalı üç boyutlu yazıcı
(Prusa heated plate 3d printer)

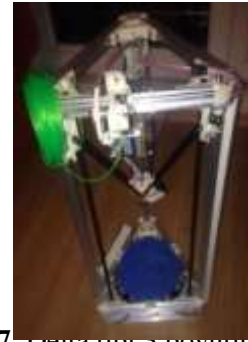


Şekil 5. Prusa tabla ısıtılmalı üç boyutlu yazıcı
(Prusa heated plate 3d printer)

Kartezyen Tipi 3 Boyutlu Yazıcı; Erşah Akgül, Yavuz Çodur ve Şerif Köylü'nün imal ettiği Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 7'de Buğra Sekban ve Kadir Türk'ün imal ettiği Kartezyen tipi tabla ısıtılmalı üç boyutlu yazıcı görülmektedir.



Şekil 6. Kartezyen tipi 3 boyutlu yazıcı
(Cartesian type of 3D printer)

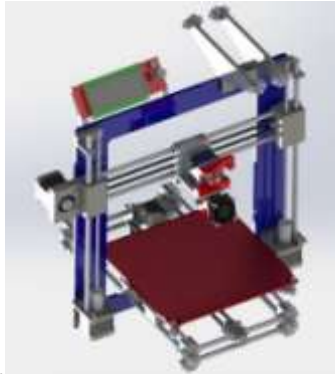


Şekil 7. Delta tipi 3 boyutlu yazıcı
(Delta type of 3D printer)

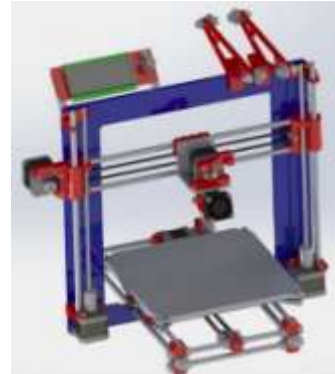
2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Geleneksel ve Tersine Mühendislikle Üç Boyutlu Yazıcı (Traditional and Reverse Engineering Three-Dimensional Printer)

Geleneksel yöntemlerle üretilmiş bağlantı parçalarına sahip üç boyutlu yazıcı SolidWorks 2014 programında modellenmiştir. Şekil 8'de geleneksel yöntemlerle üretilmiş bağlantı parçaları kullanılarak tasarlanan üç boyutlu yazıcı görülmektedir.



Şekil 8. Geleneksel 3D boyutlu yazıcı
(Traditional 3d printer)



Şekil 9. Üç boyutlu yazıcı modeli
(3d printer model)

Geleneksel yöntemlerle üretilmiş bağlantı parçaları tersine mühendislik tekniği uygulanarak yeniden modellenmiştir. Geleneksel yöntemler kullanılarak üretilmiş parçaların üzerinden delik merkezlerinin uzaklıkları ve delik çapları ölçülerek üç boyutlu yazıcıda üretilecek yeni parçalar tasarlanmıştır. Üç boyutlu yazıcıda üretilecek parçaların geometrileri daha karmaşık olup aynı zamanda daha az malzeme kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Tersine mühendislik uygulanarak tasarlanan yeni parçalarla yapılan tasarımın görünüşü Şekil 10-b’de görülmektedir.

Üç boyutlu yazıcının z ekseninde geleneksel yöntemlerle üretilmiş motor tutucu parça tasarımı ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiş ve kullanılmış olan motor tutucu parça tasarımı Şekil 10’ da görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 10. a) Geleneksel parça, b) Tersine mühendislik parçası
(a) Traditional part, b) Reverse engineering part)

Geleneksel yöntemlerle üretilmiş mil tutucu parça tasarımı ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiş ve kullanılmış olan mil tutucu parça tasarımı Şekil 11’ da görülmektedir.



(a)



(c)

Şekil 11. a) Geleneksel parça, b) Tersine mühendislik parçası
(a) Traditional part, b) Reverse engineering part)

3. BULGULAR (RESULTS)

3.1. Yazdırılan Gözlük Numuneleri ve Çekme Testleri (Tensile Testing of Samples and Printed Glasses)

Yazdırılan modellerin farklı yazıcılardaki çalışma sıcaklıkları, doluluk oranları gibi yazdırma parametreleri her bir model için eşit tutularak mekanik testler sonucu aradaki farklılıklar gözlemlenmiştir. 1.75 mm çapında PLA filament kullanılmıştır. Yazdırma işlemi 41,9 dakika sürmüştür. Çekme testlerinde gözlük kolları “A”, çerçeveleri için “B” kodlaması yapılmıştır.



Şekil 12. 1A Gözlük kolu ve 1B gözlük çerçevesi (1A and 1B spectacle frame glasses arm)

Amatör yazıcılarda yazdırılan gözlüklerin ölçüm değerleri Tablo 1’de verilmiştir. ABS ve PLA plastikten basılmış gözlük çerçeve ve kolları üzerine uygulanan kuvvetler ve dayanım sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. ABS ve PLA gözlük çerçeve ve kolları %40 doluluk oranı ile yazdırılmıştır. ABS malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve ve kol numuneleri 2A-B,5A-B,7A-B,8A-B’dir. PLA malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve ve kol numuneleri 1A-B, 3A-B, 4A-B, 6A-B’dir.

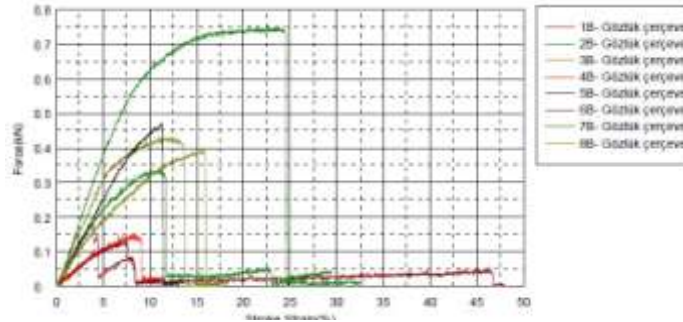
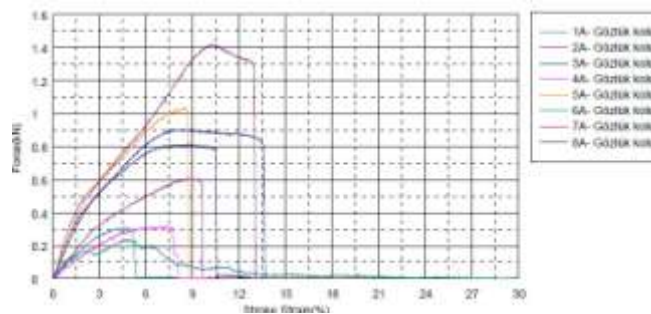
Tablo 1. Yazdırılan gözlüklerin ölçüm değerleri (Measured values are printed glasses)

Units	Thickness mm	Width mm	Gauge Length mm
1A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
1B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
2A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
2B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
3A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
3B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
4A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
4B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
5A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
5B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
6A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
6B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
7A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
7B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000
8A- Gözlük kolu	3.3500	12.0000	35.0000
8B- Gözlük çerçeve	3.3500	12.0000	35.0000

Tablo 2. Gözlük çerçeve ve kollarının çekme deneyi sonucu rakamsal verileri (As a result of tensile test of eyeglass frames and handles numerical data)

Name	Max Force	Max Disp	Max Stress	Max Strain
Units	N	mm	N/mm ²	%
1A- Gözlük kolu	36406	13,9505	9,05628	39,8588
1B- Gözlük çerçeve	18125	1,35300	4,50871	3,86571
2A- Gözlük kolu	60781	3,05000	15,1197	8,71429
2B- Gözlük çerçeve	33750	3,75800	8,36552	10,7371
3A- Gözlük kolu	90469	3,04600	22,5347	8,70286
3B- Gözlük çerçeve	43437	4,32000	10,8053	12,3429
4A- Gözlük kolu	32188	2,48800	8,0984	7,10857
4B- Gözlük çerçeve	15000	2,79500	3,73134	7,98571
5A- Gözlük kolu	1,03437	2,95600	25,7307	8,44571
5B- Gözlük çerçeve	47188	3,92800	11,7382	11,2229
6A- Gözlük kolu	31250	1,59900	7,77303	4,59957
6B- Gözlük çerçeve	13281	2,59600	3,30379	7,41714
7A- Gözlük kolu	1,42188	3,58700	35,3700	10,2486
7B- Gözlük çerçeve	75469	7,21900	18,7733	20,6257
8A- Gözlük kolu	62031	3,07400	20,4958	8,78286
8B- Gözlük çerçeve	39219	5,47750	9,75981	15,8500

Bu sonuçlar ele alındığında % 40 doluluk oranında ABS malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama 12,16573 N/mm² ve gözlük kol numunelerinin ortalama 24,15492 N/mm²'lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. % 40 doluluk oranında ABS malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama % 12,84107 ve gözlük kol numunelerinin ortalama % 9,0478 maksimum uzama miktarına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 13, Şekil 14). % 40 doluluk oranında PLA malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama 5,5872 N/mm² ve gözlük kol numunelerinin ortalama 11,8353 N/mm²'lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. %40 doluluk oranında PLA malzemesinden yazdırılan gözlük çerçeve numunelerinin ortalama % 7,9028 ve gözlük kol numunelerinin ortalama % 15,0596 maksimum uzama miktarına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 13, Şekil 14).

**Şekil 13.** Yazdırılan gözlük çerçevelerinin çekme testi grafiği (Drawing of the printed test chart glasses arm)**Şekil 14.** Yazdırılan gözlük kollarının çekme testi grafiği (Drawing of the printed test chart glasses arm)

3.2. Amatör ve Profesyonel Üç Boyutlu Yazıcıların Karşılaştırılması (Amateur and Professional Comparison of Three Dimensional Printers)

Dokuz farklı üç boyutlu yazıcının tip, boyut, çalışma sıcaklıkları, kullanılan filament çapları, işleme hızları, işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri, yüzey sertlikleri maliyet, zaman, kullanılan program, kullanılan tabla türü ve tahrik sistemlerinin karşılaştırması Tablo 3'de gösterilmiştir. Bu yazıcılardan yazdırılan ürünler 0,3 mm katman kalınlığında, %40 doluluk oranı ile yazdırılmıştır [56].

Tablo 3. 3 Boyutlu yazıcıların karşılaştırılması (Comparison of 3d printer)

Nr İsim	Tip Marka	G. Boyut (XYZ)	Y.Boyut (XYZ)	Tablet C	Normül C	Filament	L (mm) G (gr)	Diş Yüzey Pürüzlülük Değerleri Solayyon öncesi sonrası (µm)	İç Yüzey Pürüzlülük Değerleri Solayyon öncesi sonrası (µm)	Yüzey Sertlik Değerleri (hb)	Maliyet TL	Zaman	Program	Tabla	Tahrik
1) Mektap Mustafa Müzaffer	Prusa Tipi B	X 400 Y 400 Z 400	X 210 Y 210 Z 210	105/112	230 240 256	1.75 ABS	6362mm	2,327/1,484	-10,780	52	1300	41.9	Repetier Slic 3R	CAM	XV Kayış, Z MS vida çift
2) Tamer Neşet Emre	Prusa Tipi B	X 385 Y 365 Z 360	X 200 Y 200 Z 250	65.5	190	1.75 PLA	6120mm	4,937/3,451	8,697/4,329	66,83	1650	95 dk	Repetier Slic 3R	CAM	XV Kayış, Z MS vida çift
3) Merve Neziha Sibel Fatih	Prusa Tipi B	X 450 Y 470 Z 480	X 200 Y 200 Z 110	100/112	240	1.75 ABS	5186mm	7,679/6,391	-/-	47,5	1600	47.55	Repetier Cura	Sıcak Tabla	XV Kayış, Z MS vida çift
4) Adana Feyzullah Zeynep	Prusa Tipi B	X 400 Y 400 Z 450	X 200 Y 200 Z 160	105/110	238 240 252	1.75 ABS	7000mm	34,473/8,081	6,937/3,219	69,5	2000	60 dk	Cura cura	CAM	XV Kayış, Z MS vida çift
5) Serkan Ebru	Prusa Tipi B	X 450 Y 450 Z 530	X 210 Y 210 Z 230	-----	180 185 187	1.75 PLA	6767mm	17,927/12,413	14,813/9,917	62,66	1400	100dk	Repetier Slic 3R	Absap	XV Kayış, Z MS vida çift
6) Tuğral Faruk Kemal	Prusa Tipi B	X 520 Y 490 Z 500	X 200 Y 200 Z 280	-----	200	1.75 PLA	8038mm	6,805/6,168	9,702/7,604	66,83	2000	61 dk	Repetier Slic 3R	Absap	XV Kayış, Z MS vida çift
7) Ergül Yavuz Şerif	Kartex yeni	X 300 Y 300 Z 300	X 200 Y 200 Z 175	150/15	250	1.75 ABS	4370%630	1,494/1,193	21,743/-	55,33	1930	75 dk	Repetier Slic 3R	CAM	XV Kayış, Z MS vida çift
8) Kadir Boğra	Delta	X 320 Y 320 Z 600	X 160 Y 160 Z 230	-----	235	1.75 PLA	851	12,510/3,193	-/-	48,16	1930	99 dk	Repetier Slic 3R	CAM	XYZ Kayış
Bu tez çalışması için üretilmiş 3B Yazıcı	Prusa Tipi B	X 400 Y 400 Z 400	X 200 Y 200 Z 210	110	230 240 250	1.75 ABS PLA	7000mm	0,530/0,132 12,783/6,749 5,418/2,271	1,033/0,141 12,783/6,749 4,828/1,607	ABS 72,12 PLA 64,83	2000	3sa 30dk 3sa 35dk 6sa 3dk	Repetier Slic 3R	CAM	XV Kayış, Z MS vida çift

0.3 mm Katman Kalınlığı, %40 Boş alan/yaz program hızı ve akışı Slic 3R.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Bu çalışmada 60°C derece tabla sıcaklığında, % 40 doluluk oranı, 190°C extruder sıcaklığı ve 30 mm/s yazdırma hızı ile ABS ve PLA'dan gerçek ürün olarak gözlük çerçevesi üretilmiştir.

ABS malzemeden yazdırılan gözlük çerçevelerinin ortalama 13,238 N/mm²'lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. ABS malzemeden yazdırılan gözlük kollarının ortalama 22,776 N/mm²'lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür.

PLA malzemeden yazdırılan gözlük çerçevelerinin ortalama 10,68 N/mm²'lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür. PLA malzemeden yazdırılan gözlük kollarının ortalama 14,06 N/mm²'lik maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlara göre ABS malzeme ile yazdırılan gözlük numunelerinin PLA malzeme ile yazdırılmış gözlük numunelerine göre daha yüksek gerilme kuvvetine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca tersine mühendislikle üretilen üç boyutlu yazıcıdan basılan gözlük çerçeve ve kol numunelerinin amatör olarak basılan gözlük çerçeve ve kol numunelerine oranla daha yüksek gerilme kuvvetine sahip olduğu tespit edilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1].J.-P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa, (1998). Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping, *Keynote Papers*, 47(2), 525-540.
- [2].A. Azari, S.Nikzad , (2009). The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review, *Rapid Prototyping Journal*, 216 – 225.
- [3].K.Herrmanna, C. Gärtnera, D. Güllmara, M. Krämera, J. R. Reichenbacha, (2014). 3D printing of MRI compatible components: Why every MRI research group should have a low-budget 3D printer, *Medical Engineering & Physics*, 1373-1380.
- [4].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, “Kendini Kopyalayan Üç Boyutlu Yazıcı”, www.3byazici.com (2014).
- [5].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, “3D Printers and Components”, www.3d.grabercars.com (2014).
- [6].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, “3D Printers”, www.ultimaker.com (2014).
- [7].D.A. Roberson, D. Espalin, R.B. Wicker, (2013). 3D printer selection: A decision-making evaluation and ranking model, *Virtual and Physical Prototyping*, 201-212.
- [8].M. Chhabra, Rupinder Singh ,“Rapid casting solutions: a review”, *Rapid Prototyping Journal*, 328 -350 (2011).
- [9].İnternet: Üç Boyutlu Metal Yazıcılar, “Metal 3D Printers”, www.donanimhaber.com (2014).
- [10].T. Billiet, M. Vandenhoute, J. Schelfhout, S. V. Vlierberghe, P. Dubruel, (2012). A review of trends and limitations in hydrogel-rapid prototyping for tissue Engineering, *Biomaterials* 33, 6020-6041.
- [11].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcılar, “Üç Boyutlu Yazıcılara Neden İhtiyaç Duyarız?”, <http://www.prototipyap.com> (2014).
- [12].E. Kroll , D. Artzi, (2011). Enhancing aerospace engineering students learning with 3D printing wind-tunnel models, *Rapid Prototyping Journal*, 393 – 402.
- [13].B. N. Turner, R. Strong, S. A. Gold, (2014). A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling, *Rapid Prototyping Journal*, 192-204.
- [14].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, “3D Filament”, www.makergeeks.com (2014).
- [15].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, “3D Filament”, www.esun3d.net (2014).

- [16].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, “3D Filament”, www.formfutura.com (2014).
- [17].İnternet: Üç Boyutlu Yazıcı Malzemeleri, “3D Filament”, www.marwiol.pl (2014).
- [18].M.Ruffo, C.Tuck ,R. Hague, (2007). Make or buy analysis for rapid manufacturing, *Rapid Prototyping Journal*, 23 – 29.
- [19].T. Altan, B. Lillg, Y.C. Yen, (2001). Manufacturing of Dies and Molds, *Engineering Research*,.
- [20].D.Palousek, J.Rosicky, D.Koutny, (2014). Pilot study of the wrist orthosis design process, *Rapid Prototyping Journal* , 27-32.
- [21].S. Singare, Q. Lian, W. Ping Wang, J. Wang, Y. Liu, D. Li, B. Lu, (2009). Stereolithography model; (b and c) custom made implant and sterolithography skull model used in preoperative planning, *Rapid Prototyping Journal*, 19-23.
- [22].A. J. Lopes, E. MacDonald, R. B. Wicker, (2012). Integrating stereolithography and direct print 162echnologies for 3D structural electronics fabrication, *Rapid Prototyping Journal*,129 – 143.
- [23].J. Chimento, M. J. Highsmith, N. Crane, (2011). Improving the process of making rapid prototyping models from medical ultrasound images, *Rapid Prototyping Journal*, 387-392.
- [24].T.Wohlrs, (1995).Future potential of rapid prototyping and manufacturing around the World, *Rapid Prototyping Journal*, 4-10.
- [25].D. Kochan, C. Chee Kai, D. Zhaohui, (1999). Rapid prototyping issues in the 21st century, *Computers in Industry*, 3-10.
- [26].C. Hull,M. Feygin, Y. Baron, R. Sanders, E. Sachs, A. Lightman,T.Wohlrs, (1995). Rapid prototyping:current technology and future potential, *Rapid Prototyping Journal*, 11-19.
- [27].D.T. Pham, R.S. Gault, (1997). A comparison of rapid prototyping Technologies, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 1257–1287.
- [28].X. Yan ,P. Gu, (1996). A review of rapid prototyping 162echnologies and systems, *Review of rapid prototyping 162echnologies and systems*, 307-318.
- [29].Q. Sun , G.M. Rizvi , C.T. Bellehumeur, P. Gu, (2008). Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments, *Rapid Prototyping Journal*, 72 – 80.
- [30].G. N. Levy, R.Schindel, J.P. Kruth, (1996). Rapid manufacturing and rapid tooling with layer manufacturing (lm) technologies, State of the art and future perspectives.
- [31].N.P. Karapatis, J.-P.S. van ,G. Glardon,R. Glardon, (1998). Direct rapid tooling:a review of current research, *Rapid Prototyping Journal*,77-89.
- [32].D.Qiu,N.A. Langrana, S.C. Danforth, A. Safari, M. Fafari, (2001). Intelligent toolpath for extrusion-based LM process, *Rapid Prototyping Journal*,18-24(2001).
- [33].H. Wah Wai , “RP in art and conceptual design”, *Rapid Prototyping Journal*, 217-219.
- [34].G.Ryder, B.Ion, G.Green, D.Harrison, B.Wood, (2002).Rapid design and manufacture tools in architecture, *Automation in Construction 11*,279-290.
- [35].Mark A. Evans, R. Ian Campbell, (2003).A comparative evaluation of industrial design models produced using rapid prototyping and workshop-based fabrication techniques, *Rapid Prototyping Journal*, 344 – 351.
- [36].W.Guangchun,L.Huiping,G.Yanjin, Z.Guoqun, (2004). A rapid design and manufacturing system for product development applications, *Rapid Prototyping Journal*, 200 – 206.
- [37].I. Pahole, I. Drstvensek, M. Ficko, J. Balic, (2005). Rapid prototyping processes give new possibilities to numerical copying techniques, *Journal of Materials Processing Technology* ,1416-1422.
- [38].D.M.C. Santos, A.E.M. Pertence, H.B. Campos, P.R. Cetlin , (2005). The development of 3D models through rapid prototyping concepts, *Journal of Materials Processing Technology*,1–4.
- [39].A. J. Dutson , K. L. Wood, (2005). Using rapid prototypes for functional evaluation of evolutionary product designs, *Rapid Prototyping Journal*, 125 – 131.

- [40].C.S. Lee , S.G. Kim , H.J. Kim , S.H. Ahn, (2007). Measurement of anisotropic compressive strength of rapid prototyping parts, *Journal of Materials Processing Technology*, 627–630.
- [41].P.Calvert, (1998).Freeforming of polymers, *Polymers*,585-588.
- [42].M. Fantini, F. D. Crescenzo, F. Persiani, S.Benazzi, G. Gruppioni, (2008). 3D restitution, restoration and prototyping of a medieval damaged skull, *Rapid Prototyping Journal*, 318 – 324.
- [43].A. Bernard, A. Fischer, (2012). New Trends in Rapid Product Development, *Industrial Engineering Research*.
- [44].J. Chimento, M. Jason, H. Nathan Crane , (2011). 3D printed tooling for thermoforming of medical devices, *Rapid Prototyping Journal*, 387 – 392.
- [45].G.Marchelli, R.Prabhakar, D.Storti, M.Ganter, (2011). The guide to glass 3D printing: developments, methods, diagnostics and results, *Rapid Prototyping Journal*, 187- 194.
- [46].I.Campbell, D. Bourell, I.Gibson, (2012). Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age, *Rapid Prototyping Journal*, 255-258.
- [47].J. Piattoni, G.P. Candini, G. Pezzi, F. Santoni, F. Piergentili, A. Astronautica, “Plastic Cubesat: An innovative and low-cost way to perform applied space research and hands-on education”, *Acta Astronautica*, 419-429.
- [48].L. Kashdan, C. C. Seepersad, M. Haberman, P. S. Wilson, (2012). Design, fabrication, and evaluation of negative stiffness elements using SLS, *Rapid Prototyping Journal*, 194-200.
- [49].M. Vaezi, S. Chianrabutra, B. Mellor, S. Yang , (2013). Multiple material additive manufacturing – Part 1: A Review, *Virtual and Physical Prototyping*, 19-50.
- [50].D. Qiu, N. A. Langrana, (2002). Void eliminating toolpath for extrusionbased multi-material layered manufacturing, *Rapid Prototyping Journal*, 38–45.
- [51].T.Birtchnell, J.Urry , (2013).3D, SF and the future, *Futures* 50,25-34.
- [52].C. Polzin, S. Spath, H. Seitz , (2013). Characterization and evaluation of a PMMA-based 3D printing process, *Department of Mechanical Engineering*, 37-43.
- [53].Dale Prince, (2014). 3D Printing: An Industrial Revolution, *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 39-45.
- [54].M. Paulic, T. Irgolic, J. Balic, F. Cus, A. Cupar, T.Brajlih, I.Drstvensek, (2014). Reverse Engineering of Parts with Optical Scanning and Additive Manufacturing, *Procedia Engineering*, 69, 795-803.
- [55].A. K. Yıldırım, Ş. Bekçi, Y. Uyanık, M.Aydın, H.Evlen, K.Çetinkaya, (2014). Üç eksenli üç boyutlu yazıcı tasarımı ve imalatı, *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Bursa, 5-10.
- [56].Çelik, D., (2015). *Üç boyutlu yazıcı tasarımı, prototipi ve tersine mühendislik uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.