

ERGONOMİK TASARIM VE ÜRETİMDE HIZLI PROTOTİPLEME TEKNOLOJİSİ

Hasan BAŞ*, Fatih YAPICI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hızlı Prototipleme
3B Yazıcı
Ergonomi
Tasarım

Özet

Ürün tasarımında insan faktörü dikkat edilmesi gereken bir konudur. Tasarlanan ürünün ergonomik gereklilikleri karşılaması gerekmektedir. Tasarım sürecinde bu ergonomik gerekliliklerin test edilebilmesi için prototiplerin yapılmasına ihtiyaç vardır. Prototip yapımı uzun ve meşakatli bir süreçtir. Hızlı prototip teknolojisinin gelişmesiyle bu konuda çok önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu çalışmada bu hızlı prototip teknolojilerinden ve hızlı prototip hakkında yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

ERGONOMIC DESIGN AND RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY IN MANUFACTURING

Keywords

Rapid Prototyping
3D Printer
Ergonomics
Design

Abstract

Human factor is a important issue in product design. Designed product need to be adequate ergonomic requirements. In design process, in order to testing this ergonomic requirements, making prototypes is required. Making prototype is long and difficult process. Significant improvements are occurred in this issue with development rapid prototyping technology. In this study, rapid prototyping technologies and rapid prototyping studies are mentioned.

1. Giriş

Son günlerde 3 boyutlu yazıcıların endüstride ve hobi amaçlı kullanımıyla ilgili çok hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Tasarlanan ürünün hızlı bir şekilde üretilmesini sağlayan bu teknolojiyi endüstriyel tasarımda, tıp sektöründe, mimarlık alanında ve daha birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadır. Endüstriyel tasarımda, tasarlanan ürünün ergonomik olması büyük önem arz etmektedir. Ürünün ergonomik olup olmadığını test etmek için prototipinin hazırlanması gerekmektedir. Tasarlanan ürünün prototipinin hazırlanması zaman alan bir süreçtir ve birden fazla prototip hazırlanması gerekebilir. Bu noktada 3 boyutlu yazıcılar zaman kazanma konusunda büyük katkı sağlamaktadır. 3 boyutlu yazıcı teknolojisi çok detaylı, karmaşık şekillerin üretiminde çok başarılıdır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Hızlı prototipleme, parçaları veya montaj gibi birden fazla parçalar topluluğunu bilgisayar destekli tasarım ve üretim programları (CAD-CAM) kullanarak üretme tekniğidir (Jaiganesh vd., 2014). Uygulamada çok sayıda hızlı prototipleme yöntemi mevcuttur. İlk hızlı

prototipleme sistemini stereolitografidir, sistemin mucidi C. Hull'dur ve tekniğin ilk ticari üretimi 1988 yılında yapılmıştır (Kan, 2006). Bu yöntemin dışında da uygulamada birçok teknik mevcuttur. Bazı hızlı prototipleme teknikleri aşağıda belirtilmiştir:

Sıvı malzeme kullanarak prototipleme

- Mor ötesi lazerle kütleme
- Maskeli foto kütleme
- İki adet lazerle eşzamanlı kütleme
- DMD (Digital Micromirror Device) aracıyla görünür ışıkla kütleme
- Mor ötesi lamba ile Ink-jet tekniği ile melez kütleme sistemi

Elektrik iletken sıvı ile prototipleme

- Elektrokimyasal üretim

Su ile prototipleme

- Hızlı su dondurma yöntemi

Toz malzemeli prototipleme yöntemleri:

- Tozun eritilmesi yöntemiyle model elde eden sistemler:
 - Lazer sinterleme
 - Lazer eritme
- Tozun yapıştırılması ile model üreten sistemler:
 - Üç boyutlu yazıcı

* İlgili yazar: hasan.bas@omu.edu.tr, +90-362-312-1919/1504

- Seramiklerin erimiş yapıştırıcıyla birlikte fişkırtılması sistemi

Katı malzeme kullanılan sistemler:

- Plastiklerin fişkırtılması (Erişik Yığma Tekniği - FDM)
- Kaynak temelli yöntemler
- Metal sprej yöntemi
- Fişkırtma ve frezeleme yöntemi
- Mürekkep püskürtme metodu

Levha – tabaka malzeme kullanılan yöntemler

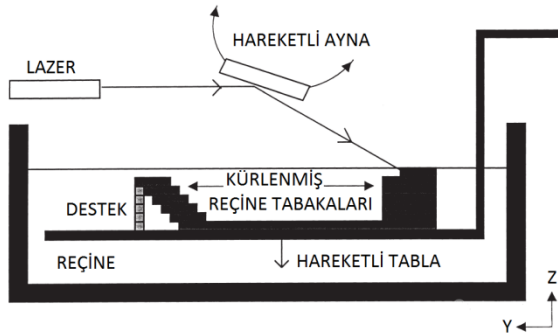
- Lazerli kesme yöntemi (LOM vb.)
- Bıçaklı kesme yöntemi

Malzeme olarak gaz ve atom kullanılan sistemler (Ermurat 2002).

Bu çalışmada hızlı prototipleme ile alakalı yedi önemli yöntemden ve literatürdeki çalışmalardan bahsedilmiştir.

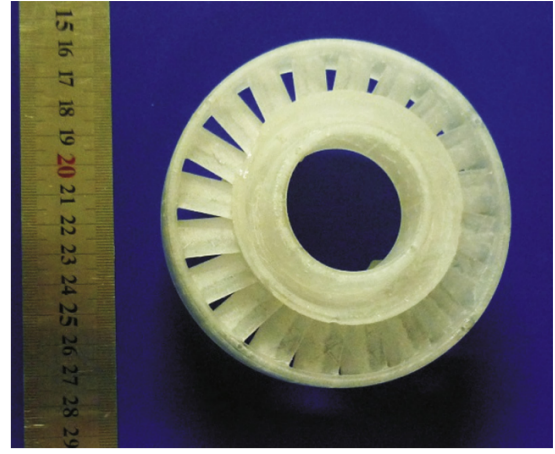
2.1. Stereolitografi (Stereolithography-SLA)

Bu yöntemde bir lazer kaynağından elde edilen ışık enerjisi ile sıvı haldeki fotopolimer yüzey taranır. Taranan kısımlar sertleştikten sonra platform bir katman kalınlığı kadar aşağı iner ve yeni bir fotopolimer katman lazer ışığıyla taranır. Bu işlemler tasarlanan tüm katmanlar bitene kadar tekrarlanır. İnşa işlemi bitince model fotopolimer havuzdan çıkarılır (Kan, 2006). Şekil 1’de Stereolitografi yönteminin temsili resmi gösterilmiştir (Pham ve Gault, 1998).



Şekil 1. Stereolitografi yönteminin temsili gösterimi

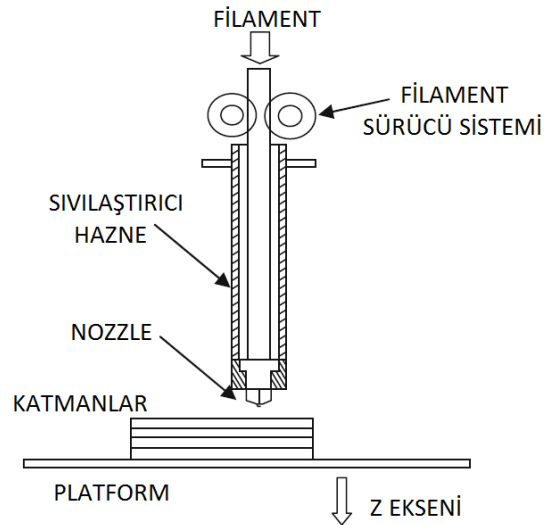
Melchels vd. (2008) çalışmalarında poly (D, L-lactide) bazlı stereolitografi reçinesi geliştirerek bu reçineden farklı gözenekli yapıya sahip, biyolojik olarak parçalanabilen değişik konfigürasyonda yapı iskeleleri yapmışlardır. Daha sonra hazırlanmış oldukları bu deney numunelerine μ CT-tarama ve basma deneyleri ile analiz etmişlerdir. Şekil 2’de stereolitografi tekniği ile üretilen bir türbin statoru gösterilmiştir (Zhou vd, 2015).



Şekil 2. Türbin statoru prototipi

2.2. Erişik Yığma Tekniği (Fused Deposition Modeling-FDM)

FDM tekniğinde tel şeklindeki plastik veya mum malzeme bir nozul içerisinden ekstrüzyon edilir. Nozul içerisinde malzemeyi ergime noktasının üzerindeki bir sıcaklıkta tutacak bir ısıtıcı vardır. Bu ısıtıcı vasıtasıyla eriyen malzeme nozul içerisinden aktıktan sonra sertleşmekte ve altındaki katmana yapışmaktadır. Bu şekilde bütün katmanlar oluştuktan sonra işlem tamamlanmaktadır (Çelik vd., 2013). Şekil 3’de FDM tekniği gösterilmiştir (Gibson vd., 2010).



Şekil 3. FDM tekniğinin temsili gösterimi

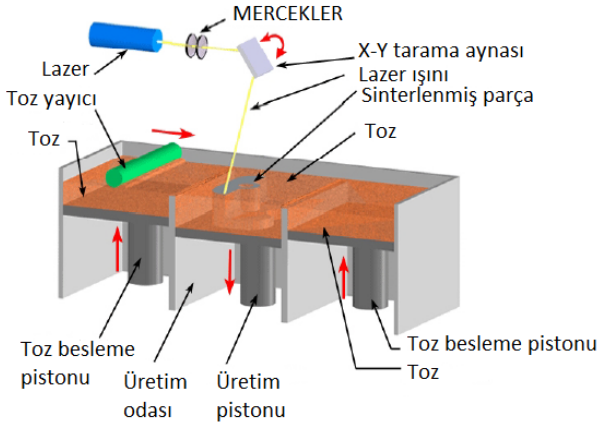
Jain ve Kuthe (2013) çalışmalarında kum döküm modellerinin yapımında FDM yöntemini kullanarak yeni bir döküm tekniği geliştirmişlerdir. Oldham kavramasının orta diskini hem yeni döküm tekniği ile hem de klasik kum kalıba döküm tekniği kullanarak imal etmişler ve bu teknikleri karşılaştırmışlardır. Sonuçta özellikle karmaşık parçaların modellerinin hazırlanmasında hızlı prototipleme yöntemi kullanılmasının çok daha faydalı olduğunu tespit etmişlerdir. Şekil 4’de FDM yöntemiyle üretilmiş polipropilen parça gösterilmiştir (Carneiro vd., 2015).



Şekil 4 Polipropilen parça

2.3. Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering-SLS)

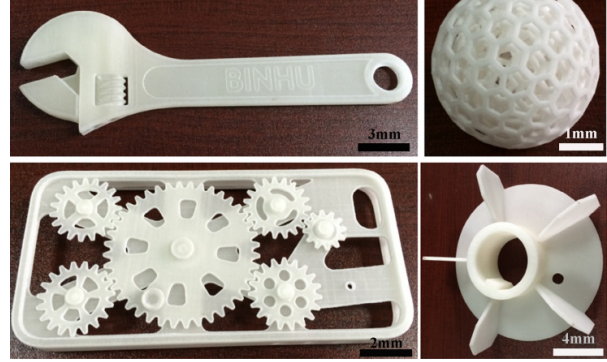
SLS yönteminde modelin oluşturulacağı haznenin üzerine kolayca eriyebilen ince toz tabakası serilmekte daha sonra ısı üreten CO₂ lazer ile toz üzeri taranmaktadır. Lazerin toz ile etkileşimiyle tozun sıcaklığı ergime noktasının üzerine çıkmakta ve ergiyen toz kısa sürede katman oluşturmaktadır. Katman tamamen oluşunca yardımcı bir mekanizma ile ek toz tabakası taranan katmanın üzerine serilmekte toz tabakası tekrar lazer ile taranarak yeni katmanların oluşturulması işlemi model tamamlanuncaya kadar devam etmektedir (Chua vd., 2003). Şekil 5'de seçici lazer sinterleme sisteminin temsili gösterimi sunulmuştur (Çelik vd. 2013).



Şekil 5. Seçici lazer sinterleme sistemi

Bai vd. (2006) yaptıkları çalışmada lazerin ısıtma özellikleri, tozun termofizik parametreleri, lazer sinterleme süreci ve polimer kaplı molibden tozun uzun ayarlanabilir çizgi tarama ile lazer sinterleme boyunca oluşacak sıcaklık alanın nümerik modeli üzerinde yoğunlaşmışlardır. Lazer sinterleme sürecindeki sıcaklığı hesaplamak için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Simülasyon verilerini doğrulamak için lazer sinterleme sıcaklık alanını ölçecek bir sistem geliştirmişlerdir. İnfra metre ile sinterlenen tozun yüzey sıcaklığını, tozun iç tarafındaki sıcaklığı ölçmek için ise termocupl kullanmışlardır. Simülasyon sonuçları ile deney

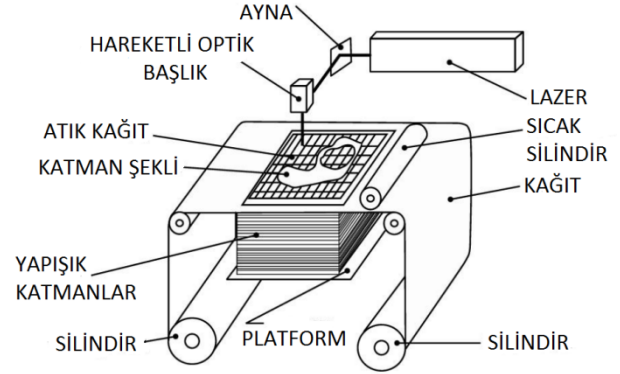
sonuçlarını karşılaştırdıklarında %5'den az sapmalar gözlemlemişlerdir. Şekil 6'da SLS yöntemi kullanılarak yapılan polipropilen modeller gösterilmiştir (Zhu vd., 2015).



Şekil 6 Polipropilen modeller

2.4. Çok Tabakalı Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing-LOM)

LOM yönteminde katman malzemesi olarak kağıt kullanılmaktadır. Bu method, kağıtların yapıştırılıp kesilmesi prensibine dayanır. Kağıt sıcak silindir vasıtasıyla serilir ve yapıştırılır. Silindir kağıt üzerine sıcaklık ve basınç uygulanır, ince termoplastik yapıştırıcı tabaka yüzeyi yapıştırır. Yeni tabaka yapıştırıldıktan sonra CO₂ lazer yardımıyla tabaka kesilir. Geriye kalan kağıt malzeme ortamdan atılır. Bütün tabakalar tamamlana kadar bu işlemler devam ettirilir ve böylelikle parça tamamlanır (Chiu vd., 2003). Şekil 7. De LOM tekniğini gösterilmiştir (Colton, 2015).



Şekil 7. LOM tekniğinin temsili gösterimi

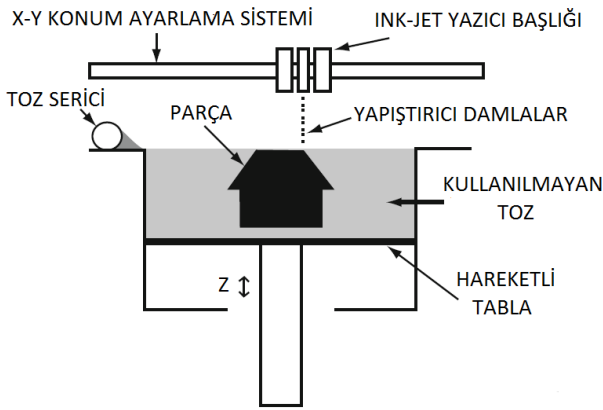
Anh vd. (2012) LOM yöntemiyle üretilen parçaların yüzey kalitesini belirlemek için önermiş oldukları yeni bir yöntem ile parçaların yüzey profillerini inceleyerek, LOM süreci faktörleri geometrik olarak ele alınmış ve yüzey açısı farklılıklarına göre ortalama yüzey kalitesini teorik yaklaşımlarla belirlemişlerdir. Şekil 8'de LOM yöntemiyle üretilen parça gösterilmiştir (Liao vd., 2003).



Şekil 8 LOM yöntemi ile üretilen parça

2.5. 3 Boyutlu Yazıcı (3D Ink-Jet Printing)

Bu yöntemde modeli oluşturan katmanlar, ink-jet yazıcı kafasında bulunan haznedan püskürtülen yapıştırıcı ile oluşturulmaktadır. Hazırlanan her bir katmandan sonra platform katman kalınlığı kadar aşağı iner, toz ilave edilir ve tekrar gerekli yerlere yapıştırıcı püskürtülerek bu süreçler model elde edilinceye kadar devam etmektedir (Mahindru and Mahindru, 2013). Şekil 9'da 3D ink-jet yöntemi temsili olarak gösterilmiştir (Gibson vd., 2010).



Şekil 9. 3D ink-jet printing yöntemi temsili gösterimi

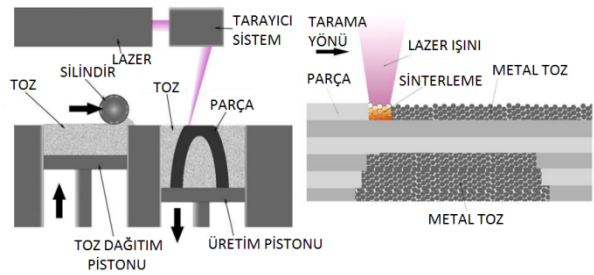
Zang T. Ve arkadaşları çalışmalarında heterojen parçaların üretiminde 3D ink-jet printing yöntemini ele almışlardır. Heterojen parçaların üretimini simüle edebilmek için sanal bir 3D ink-jet printer sistemi oluşturmuşlardır (Zang vd., 2012). Şekil 10'da 3D ink-jet yöntemiyle üretilmiş olan Ayasofya Camii maketi gösterilmiştir (Kan, 2006).



Şekil 10 3D ink-jet yöntemiyle yapılan Ayasofya Camii maketi

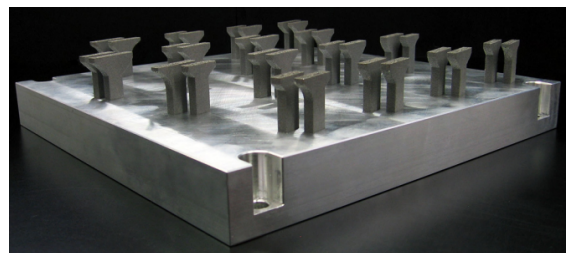
2.6. Metal Lazer Sinterleme (Direct Metal Laser Sintering-DMLS)

Bu teknikte ilk olarak çelikten yapılmış levha XY tablasının üzerine yerleştirilir ve seviyesi ayarlanır. Sonra toz tabaka (yaklaşık olarak 50 µm kalınlığında) bu levhanın üzerine yardımcı mekanik elemanlarla serilir. Lazer ile toz yüzeyin gerekli yerleri taranarak lazerin verdiği enerjiyle toz parçacıkları birleşir. Lazer taramasından sonra platform 50 µm aşağı indirilir ve yeni toz tabakası bir önceki tabakanın üzerine serilerek aynı işlemlere şekil tamamlanincaya kadar devam edilir (Simchi vd., 2003). DMLS yöntemi şekil 6'da gösterilmiştir (Coffy, 2014).



Şekil 11. DMLS yöntemi temsili gösterimi

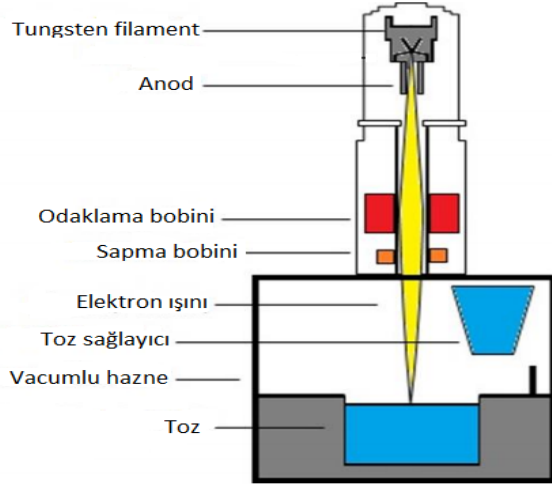
Barucca vd. (2015) DMLS yöntemiyle üretilen biyomedikal uygulamalar için kullanılacak Co-Cr-Mo alaşımının sertlik değerlerini ve yapısal özelliklerini incelemişlerdir. DMLS yöntemiyle üretilen alaşımın sertlik değerlerinin döküm ve dövme yöntemleriyle üretilen alaşımlara göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Şekil 11 de DMLS yöntemiyle üretilmiş AlSi10Mg parçalar gösterilmiştir (Atzeni ve Salmi, 2015).



Şekil 11 DMLS metoduyla üretilen AlSi10Mg parçalar

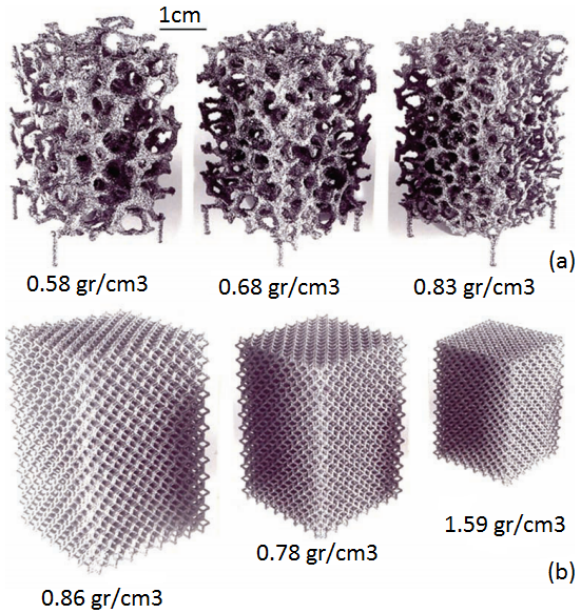
2.7. Elektron Işınla Eritme (Electron Beam Melting-EBM)

EBM tekniği, yoğun metal tozlarını güçlü bir elektron ışınıyla eriterek katmanlar halinde modelin oluşturulması ilkesine dayanmaktadır (Çelik vd., 2013). Şekil 7'de EBM tekniği temsili gösterimi görülmektedir (Horn, 2015).



Şekil 12. EBM tekniği temsili gösterimi.

Ikeo vd. (2015) çalışmalarında EBM yöntemiyle üretilip daha sonra ısıl işleme tabi tutulan toz ve eritilmiş katıdan oluşturulan, sıralı-gözenekli yapıdaki kompozit malzemeyi incelemişlerdir. Sonuçta, kompozitin düşük Young modülüne (≤ 31 GPa) sahip olduğunu ve mükemmel enerji sönümlene kabiliyetine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Şekil 13'de EBM yöntemiyle üretilmiş köpük ve mesh yapıları gösterilmiştir (Murr vd., 2012).



Şekil 13 EBM yöntemiyle üretilmiş köpük (a) ve mesh (b) yapılar.

3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada hızlı prototipleme yöntemlerinden bahsedilmiş olup bu alanlarda yapılan çalışmalara değinilmiştir. Hızlı prototipleme teknolojisi çok büyük bir hızla gelişmekte ve her alanda yerini almaktadır. Tasarım sürecinde modelin ergonomisinin testi için hızlı prototipleme teknolojisinin kullanılması çok büyük bir hız ve avantaj sağlayacaktır.

4. Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

5. Kaynaklar

- Ahn, D., Kweon, J., Choi, J., Lee, S., 2012. Quantification of surface roughness of parts processed by laminated object manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 212, 339-346.
- Atzeni, E., Salmi, A., 2015. Study on unsupported overhangs of AlSi10Mg parts produced by direct metal laser sintering. *Journal of Manufacturing Processes*.
- Bai, P., Cheng, J., Liu, B., Wang, W., 2006. Numerical simulation of temperature field during selective laser sintering of polymer-coated molybdenum powder. *Transactions of Nonferrous Metal Society of China*, 16, s603-s607.
- Barucca, G., Santecchia, E., Majni, G., Girardin, E., Bassoli, E., Denti, L., Gatto, A., Iuliano, L., Moskalewicz, T., Mengucci, P., 2015. Structural characterization of biomedical Co-Cr-Mo component produced by direct metal laser sintering. *Materials Science and Engineering*, 48, 263-269.
- Carneiro, O.S., Silva, A.F., Gomes, R., 2015. Fused deposition modeling with polypropylene. *Materials & Design*, 83, 768-776.
- Chiu, Y.Y., Liao, Y.S., Hou, C.C., 2003. Automatic fabrication for bridged laminated object manufacturing (LOM) process. *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 179-184.
- Chua, C.K., Leong, K.F., Lim, C.S., 2003. *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. 2nd ed. in World Scientific, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Coffy, K.M., 2014. Microstructure and chemistry evolution of direct metal laser sintered 15-5 ph stainless steel. M.S. Thesis, Dept. Mater. Sci. and Computer Sci. Eng., Univ. of Central Florida, USA.
- Colton, J. S., 2015. Rapid Prototyping, [Online]. Available: <http://www-old.me.gatech.edu/jonathan.colton/me4210/rpm.pdf>

- Çelik, İ., Karakoç, F., Çakır M.C., Duysak, A., 2013. Hızlı prototipleme teknolojileri ve uygulamaları. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s. 31, ISSN 1302-3055.
- Ermurat, M., 2002. Hızlı prototip ve üretim teknolojilerinin incelenmesi. Gebze Y. Tekn. Ens. F. Bil. Ens. Y.L. tezi.
- Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B., 2010. Additive Manufacturing Technologies. Springer, Dordrecht Heidelberg London New York.
- Horn, T., 2015. Material development for electron beam melting [Online]. Available: <http://camal.ncsu.edu/wp-content/uploads/2013/10/Tim-Horn-2013CAMAL.pdf>
- Ikeo, N., Ishimoto, T., Nakano, T., 2015. Novel powder/solid composites possessing low Young's modulus and tunable energy absorption capacity, fabricated by electron beam melting, for biomedical applications. Journal of Alloys and Compounds, 639, 336-340.
- Jaiganesh, M., Christopher, A.A., Mugilan, E., 2014. Manufacturing of PMMA Cam Shaft by Rapid Prototyping. 12th Global Congress on Manufacturing and Management GCMM, 2127-2135.
- Jain, P., Kuthe, A.M., 2013. Feasibility study of manufacturing using rapid prototyping: FDM approach. The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC, 4-11.
- Kan, B., 2006. Hızlı prototipleme sistemleri ve uygulama esasları. Sakarya Üni. F. Bil. Ens. Y.L. tezi.
- Liao, Y.S., Chiu, L.C., Chiu, Y.Y., 2003. A new approach of online waste removal process for laminated objet manufacturing (LOM). Journal of Materials Processing Technology, 140, 136-140.
- Mahindru D.V., Mahindru, P., 2013. Review of rapid prototyping-technology for the future. Global Journals of Computer Science and Technology, 13, issue 4.
- Melchels, F.P.W., Grijpma, D.W., Feijen, J., 2008. Properties of Porous structures prepared by stereolithography using a polylactide resin. Journal of Controlled Release, 123, e71-e73.
- Murr, L.E., Gaytan, S.M., Ramirez, D.A., Martinez, E., Hernandez, J., Amato, K.N., Shindo, P.W., Medina, F. R., Wicker, R.B., 2012. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting Technologies. Journal of Materials Science & Technology, 28, 1-14.
- Pham, D.T., Gault, R.S., 1998. A comparison of rapid prototyping technologies. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 38, 1257-1287.
- Simchi, A., Petzoldt, F., Pohl, H., 2003. On the development of direct metal laser sintering for rapid tooling. Journal of Materials Processing Technology, 141, 319-328.
- Zang, T., Qu, Y., Jia, L., Xu, A., 2012. Virtual 3D ink-jet printing for heterogeneous object. Advanced Materials Research, 538-541, 2868-2871.
- Zhou, J., Lu, Z., Miao, K., Ji, Z., Dong, Y., Li, D., 2015. Quick fabrication of aeronautical complicated structural parts based on stereolithography. Propulsion and Power Research, 4, 63-71.
- Zhu, W., Yan, C., Shi, Y., Wen, S., Liu, J., Shi, Y., 2015. Investigation into mechanical and microstructural properties of polypropylene manufactured by selective laser sintering in comparison with injection molding counterparts. Materials & Design, 82, 37-45.