



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Doldurma Şekillerinin Üç Boyutlu Yazıcılarda Üretilen Ürünlerin Mukavemetine Etkisi

 Menderes KAM^a,  Hamit SARUHAN^b,  Ahmet İPEKÇİ^{a,*}

^aMakine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^bMakine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahmetipekci@duzce.edu.tr

DOI : 10.29130/dubited.452907

ÖZET

Bu çalışmada, farklı doldurma şekillerinin Ergiyik Depolayarak Modelleme (Fused Deposition Modelling - FDM) yöntemi ile imal edilen ürünlerin mukavemetine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada filament malzeme olarak PET-G (Polyethylene Terephthalate Glycol) kullanılmış ve farklı doldurma şekillerinde (Rectilinear, Grid, Triangular, Wiggle, Fast honeycomb, Full honeycomb), doluluk oranı (%30), işleme hızı (4200 mm/dak), nozul çapı (0,40 mm), nozul sıcaklığı (230 °C), katman kalınlığı (0,20 mm) olmak üzere ISO 527-2 standardına uygun ürünler imal edilmiştir. Bu numunelerin çekme mukavemetlerini incelemek için çekme testleri gerçekleştirilmiş ve testlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar yazdırma şekillerinin ürün mukavemeti üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Rectilinear doldurma şeklinde imal edilen ürünlerde elde edilen mukavemet değerleri diğer doldurma şekillerine göre yaklaşık % 15 daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, Full honeycomb doldurma şeklinin diğer doldurma şekillerine göre daha fazla uzama gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: FDM, Doldurma şekli, PET-G, Mukavemet.

Effect of Filling Structures on Strength of Printed Products by 3D Printers

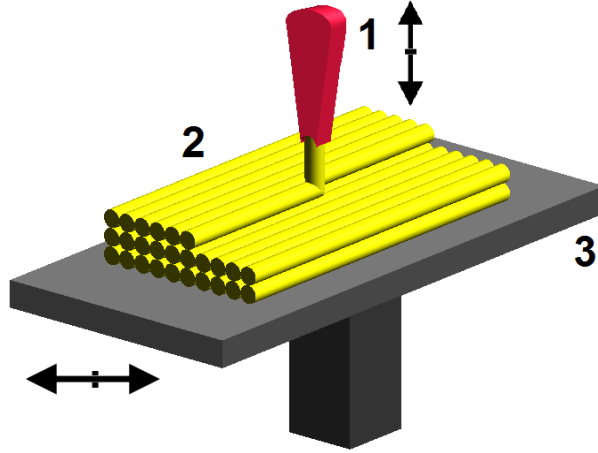
ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the effect of different filling structures on strength of printed products by 3D printer using the Fused Deposition Modeling (FDM) method. Test samples according to ISO527-2 standards were printed using PET-G (Polyethylene Terephthalate Glycol) filament having specification of occupancy rate (30 %), printing speed (4200 mm/min), nozzle diameter (0,40 mm), nozzle temperature (230 °C), layer thickness (0,20 mm) and different filling structures (Rectilinear, Grid, Triangular, Wiggle, Fast honeycomb, Full honeycomb). Uniaxial tensile tests were carried out to investigate the effect of filling structures on strength of printed samples. From the test results, it has been found that Rectilinear filling structure has a positively significant effect (15 %) on strength of the printed product compare to the others filling structures. Also, it has been shown that percentage elongation of Honeycomb filling structure has particularly higher than other filling structures.

Keywords: FDM, Filling Structure, PET-G, Strength.

I. GİRİŞ

Ergiyik depolayarak modelleme yöntemi (Fused Deposition Modelling - FDM) enjeksiyon kalıplamaya benzer bir üretim yöntemidir. İki yöntem arasındaki belirgin fark FDM yönteminde herhangi bir kalıp ya da yataklamaya ihtiyaç duyulmamasıdır. FDM yöntemi, Şekil 1’de gösterildiği gibi sıcak bir nozul (1) içerisinde erimiş malzemeyi (2) kesit alanı ölçüsünde iplik halinde katman katman olacak şekilde cam yüzeye ya da ısıtmalı düz bir tabla yüzeyine (3) dökme işlemidir [1-4].



Şekil 1. FDM yöntemiyle üretim(1-Nozul, 2-Eritilen malzeme, 3-Isıtıcı tabla) [4]

FDM, hızlı prototipleme ve eklemeli imalat endüstrisinde çok geniş alanda kullanımı bulunan karmaşık geometriye sahip ürün üretimi için tercih edilmektedir [4-5]. Bunun yanında prototip, özel aparat veya kişi ihtiyaçlarına özgü ürün gibi az sayıda üretim gerektiren durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [6]. FDM yönteminin tüm bu avantajlarına rağmen bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan en önemlisi; nozuldan çıkan ergiyik malzemenin büzülmesi ve büküm oluşturmasının sonucu olarak düzlem yüzeye malzemenin sağlıklı yapışmasını engellemektedir. Ayrıca, üretim esnasında farklı soğutma koşullarından kaynaklı parçanın geometrik olarak köşelerinde kalkma ve çarpılmalar oluşmaktadır. FDM yönteminin bu dezavantajlarının giderilmesine yönelik birçok araştırmacı tarafından detaylı çalışmalar yapılmıştır [7-13].

Üç boyutlu (3B) yazıcılarda yazdırma hızı, tabla sıcaklığı, nozul sıcaklığı, katman kalınlığı, nozul genişliği, soğutma hızı ürün kalitesini etkileyen başlıca unsurlardır [7, 8]. Sood vd. yapmış oldukları çalışmada karmaşık geometriye sahip yüzeylerin üretiminde FDM teknolojisinin başarı gösterdiği vurgulanmıştır [9]. Wang vd. yaptıkları çalışmada üretimde doldurma şekillerini değiştirmiş ve iç hacmi azaltarak ürün maliyetini düşürmüşlerdir [10]. Wilson yaptığı çalışmada birden fazla doldurma şekli ile üretilen parçaların gerilme dağılımlarını incelemiş ve hücrelerin yoğunluğuna göre gerilme dağılımlarının değiştiğini gözlemlemiştir [11]. FDM yöntemiyle dayanım odaklı yapılmış literatürdeki diğer çalışmalar, 3B yazıcı sistemlerindeki üretim parametreleri [12, 13], yazdırma teknikleri ve tersine mühendislik uygulamaları [14, 15], değişik yazıcı ve yazdırma teknikleri ile bunların uygulamaları [16-20] ve geliştirilmesi [20-21] şeklindedir.

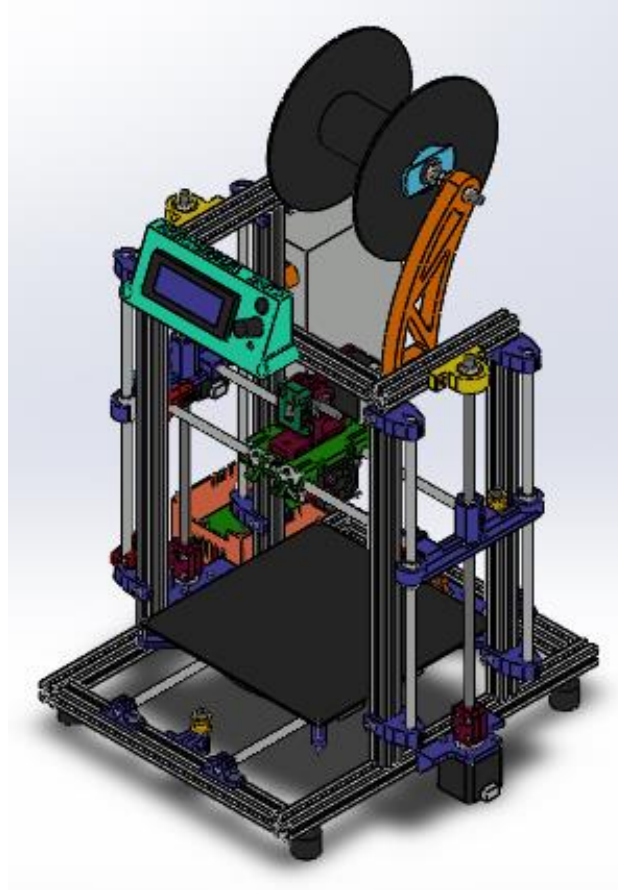
Çekme testleri, malzemelerin dayanımını belirlemek için kullanılan en önemli yöntemlerdendir. Lanzotti vd. yaptıkları çalışmada açık kaynaklı 3B yazıcı ile imal ettikleri numunelerin mekanik özelliklerini incelemek için çekme testleri yaparak sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Her bir işlem parametresinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılarak, FDM ile üretilen parçaların sertliği

ve mukavemeti ile ilgili veriler elde etmişlerdir. Bu verilerin analitik formülasyonlarla ve literatürde bulunan diğer verilerle iyi derecede uyum içerisinde olduğunu görmüşlerdir [22]. Plastik malzemeler için çekme testleri yaygın olarak ISO 527 standartlarına göre uygulanmaktadır [23-27].

Bu çalışmada, PET-G (Polyethylene Terephthalate Glycol) filament malzeme kullanılarak farklı doldurma şekillerinde doluluk oranı (% 30), işleme hızı (4200 mm/dak), nozul çapı (0,40 mm), nozul sıcaklığı (230 °C), katman kalınlığı (0,20 mm) olmak üzere ISO 527-2 standardına uygun numuneler imal edilmiş ve doldurma şekillerinin ürünlerin çekme mukavemetine etkisi incelenmiştir.

II. MATERYEL VE METOD

3B yazıcıda test numunelerini imal edebilmek için öncelikle numuneler bilgisayar ortamında 3B olarak ve dilimleme ara yüz programı olan Simplify3D programına aktarılmıştır. Programda tasarlanan numunelerin doluluk oranı, doldurma şekli, katman yüksekliği gibi yazdırma parametreleri, Tablo 1'deki gibi belirlenmiştir. Şekil 2'de 3B modeli verilen 3B yazıcıda numunelerin üretimi FDM yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 3B yazıcının üç boyutlu modeli

Tablo 1. Yazdırma Parametreleri

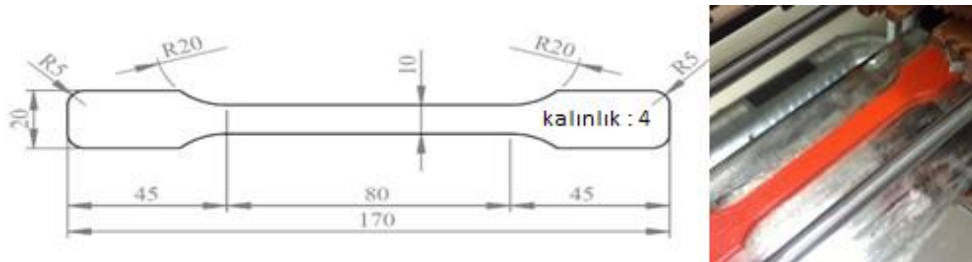
Yazdırma Parametreleri	
Filament çapı (mm)	1,75
Nozul çapı (mm)	0,40
Ekstrüder sıcaklığı (°C)	230
Tabla sıcaklığı (°C)	Isıtmasız
Doluluk oranı (%)	30
Ekstrüzyon genişliği (mm)	0,35
Katman kalınlığı (mm)	0,20
Yazdırma Hızı (mm/dak)	4200
Boşta çalışma hızı (mm/dak)	4800
Oda sıcaklığı (°C)	24 ± 1
Doldurma şekli	1-Rectilinear 2-Grid 3-Triangular 4-Wiggle 5-Fast Honeycomb 6-Full Honeycomb

Çekme testinde kullanılan numuneleri altı farklı doldurma şekli için % 30 doluluk oranıyla PET-G filament malzemeden imal edilmiştir. Kullanılan PET-G malzemeye ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. PET-G malzemenin özellikleri [26]

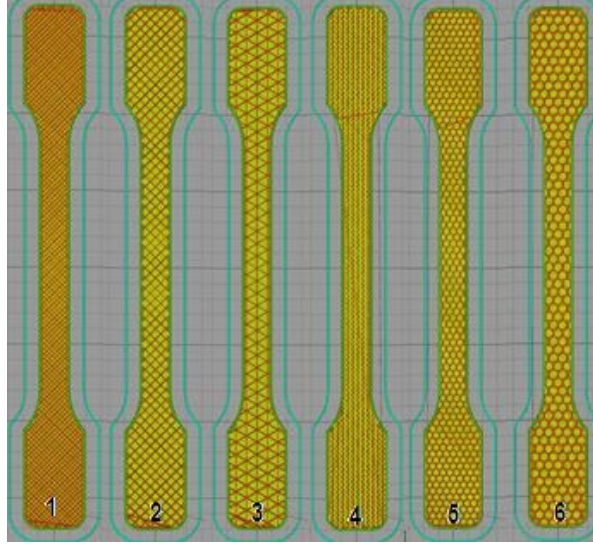
Malzeme Özellikleri	
Malzeme	PET-G
Filament rengi	Turuncu
Filament çapı (mm)	1,75
Özgül kütle (g / cm ³)	1,27
Akma dayanımı (MPa)	50
Elastiklik modülü (MPa)	2140
Yüzde uzama (%)	120
Erime noktası (°C)	135
Isıyla eğilme sıcaklığı (°C)	70

ISO 527-2 standardına uygun çekme testi numunesi ölçüleri ve üretimi Şekil 3’de verilmiştir. PET-G filament malzemeden Rectilinear, Grid, Triangular, Wiggle, Fast honeycomb ve Full honeycomb doldurma şekillerinde her numuneden üçer adet toplam 18 adet çekme testi numunesi imal edilmiştir.



Şekil 3. Standart çekme testi numunesi

Şekil 4’te, altı farklı doldurma şeklinin (Rectilinear, Grid, Triangular, Wiggle, Fast honeycomb ve Full honeycomb) kesit görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4. Doldurma şekilleri:

1-Rectilinear, 2-Grid, 3-Triangular, 4-Wiggle, 5-Fast Honeycomb, 6-Full Honeycomb

Çekme testleri Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bünyesinde bulunan bir laboratuardaki UTEST marka 10 ton kapasiteli çekme testi cihazında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi cihazı ve çekme işlemi esnasında numunenin durumu Şekil 5’te verilmiştir. Çekme testleri her bir test numunesine eşit şartlarda uygulanmıştır.



Şekil 5. Çekme testi düzeneği

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çekme testlerinden elde edilen çekme dayanımı (MPa) ve yüzde uzama değerleri sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Çekme testi sonucu çekme dayanımı değerleri (MPa)

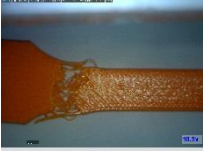




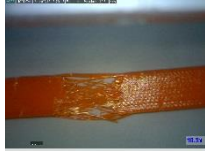












Çekme dayanımı değerleri (MPa)				
Numune doldurma şekli	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
Rectilinear	16,87	18,39	17,60	17,63
Grid	12,28	14,32	13,25	13,30
Triangular	13,85	16,03	15,00	14,94
Wiggle	14,96	16,62	15,81	15,79
Fast Honeycomb	12,67	13,45	13,10	13,06
Full Honeycomb	12,12	13,52	15,80	12,82

Çekme testi sonuçlarına göre; ortalama çekme dayanım değerleri sırasıyla Full honeycomb, Fast honeycomb, Grid, Triangular, Wiggle ve Rectilinear doldurma şekli için arttığı görülmüştür. Full honeycomb doldurma şekline sahip numunelerde en düşük çekme dayanımı değeri 12,12 MPa olarak elde edilirken, en yüksek çekme dayanımı değeri 18,39 MPa olarak Rectilinear doldurma şekline sahip numunelerde elde edilmiştir.

Tablo 4. Çekme testi sonucu yüzde uzama değerleri

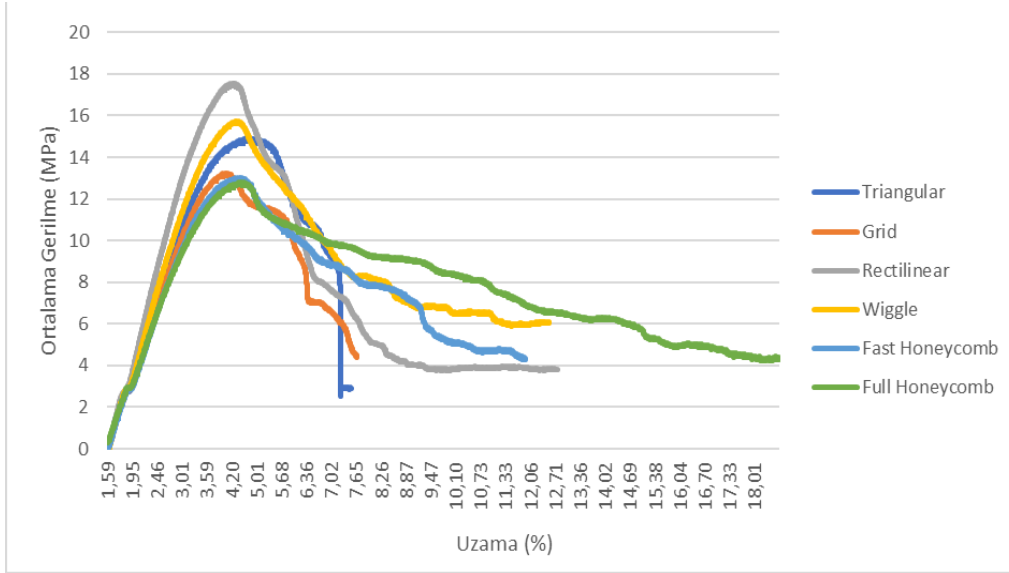
Uzama değerleri (%)				
Numune doldurma şekli	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama
Rectilinear	0,10	0,06	0,07	0,08
Grid	0,09	0,06	0,08	0,07
Triangular	0,11	0,12	0,11	0,11
Wiggle	0,15	0,11	0,13	0,13
Fast Honeycomb	0,11	0,10	0,11	0,10
Full Honeycomb	0,16	0,17	0,16	0,16

Tablo 4'te çekme testi yüzde uzama sonuçları görülmektedir. En yüksek yüzde uzama değeri 0,17 olarak Full honeycomb doldurma şeklinde görülmüştür. En küçük yüzde uzama değeri 0,06 uzama değeri ile Rectilinear ve Grid doldurma şekillerinde görülmüştür. Ortalama değerleri karşılaştırıldığında Full honeycomb doldurma şeklinin diğer doldurma şekillerine göre daha fazla uzama gösterdiği anlaşılmaktadır. Full honeycomb doldurma şeklinin daha çok esnemeye müsaade edecek gözeneklere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 6'da çekme testi sonrasında hasar görmüş numunelerin resimleri yer almaktadır.

Çekme testi sonrasında numuneler			
Numune doldurma şekli	Numune 1	Numune 2	Numune 3
Rectilinear			
Grid			
Triangular			
Wiggle			
Fast Honeycomb			
Full Honeycomb			

Şekil 6. Çekme testi sonrası oluşan hasar resimleri

Yüzde uzama değerlerine paralel olarak parçalarda hasar bölgelerinde uzamalar net bir şekilde görülmektedir. Ayrıca doldurma şekline göre kesite göre kopma açıları değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlik parçaların yükleme altında gösterdikleri dayanım değerlerini etkilemektedir. Şekil 7' de her bir doldurma şekli için ortalama Gerilme – yüzde uzama değerleri verilmiştir.



Şekil 7. Ortalama gerilme - uzama grafiği

Şekil 7'de verilen değerlere göre aynı şartlarda üretilen ürünlerde en fazla çekme mukavemeti Rectilinear doldurma şeklinde ve en düşük çekme mukavemeti değeri ise Full honeycomb doldurma şeklinde elde edilmiştir. Bununla birlikte, farklı doldurma şekillerine göre çekme dayanımları 17,63 - 12,82 MPa aralığında yer almaktadır. Yüzde uzama değerleri ise 0,07 - 0,16 arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlardan PET-G malzemeden imal edilen ürünlerin dayanımı göz önüne alındığı durumda Rectilinear doldurma şeklinin daha uygun olacağı esneklik göz önüne alındığı durumda ise Full honeycomb doldurma şeklini seçmek daha uygun olacaktır.

IV. SONUÇ

3B yazıcıda FDM yönteminde farklı doldurma şekillerinin (Rectilinear, Grid, Triangular, Wiggle, Fast honeycomb, Full honeycomb) PET-G filament malzemeden imal edilen ürünlerin çekme mukavemetine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda imal edilen ürünler üzerinde gerçekleştirilen çekme testleri sonucunda elde edilen veriler çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri açısından analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; çekme dayanımlarında Rectilinear doldurma şeklinde imal edilen numunelerde elde edilen dayanım sonuçları diğer doldurma şekillerine göre yaklaşık % 15 daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Literatürde yapılan çalışmalarda PET-G malzemeden üretilen ürünlerde Rectilinear doldurma şeklinin dayanımının yüksek olduğu yapılan çalışmadaki sonuçları destekler niteliktedir. Full honeycomb doldurma şeklinin diğer doldurma şekillerine göre daha fazla uzama gösterdiği görülmüştür. Full honeycomb doldurma şeklinin daha çok esnemeye müsaade edecek gözeneklere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje no: 2018.22.01.773) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiş ve Engineer of Future International Student Smyposium 2018 (EFIS 2018) adlı sempozyumda sunulmuştur.

V. KAYNAKLAR

- [1] L. Novakova-Marcincinova and J. Novak-Marcincin, "Experimental testing of materials used in fused deposition modeling rapid prototyping technology," *Advanced Materials Research*, vol. 740, pp. 597-602, 2013.
- [2] D. T. Pham, and R. S. Gault, "A comparison of rapid prototyping technologies," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 38, no. 1, pp. 1257-1287, 1997.
- [3] B. N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 192-204, 2014.
- [4] S. H. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy and P.K. Wright, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 8, no. 4, pp. 248-257, 2002.
- [5] V. Nidagundi, R. Keshavamurthy and C. Prakash, "Studies on parametric optimization for fuseddeposition modelling process," *Materials Today: Proceedings*, vol. 2, no. 4-5, pp. 1691-1699, 2015.
- [6] A. Boschetto and L. Bottini, "Design for manufacturing of surfaces to improve accuracy in fused deposition modeling," *Robotics And Computer- Integrated Manufacturing*, vol. 37, pp. 103-114, 2016.
- [7] W. Z. Wu, P.Geng, J. Zhao, Y. Zhang, D. W. Rosen, and H. B. Zhang, "Manufacture and thermal deformation analysis of semicrystalline polymer polyether ether ketone by 3D printing," *Materials Research Innovations*, vol. 5, no. 12, pp. 5-16, 2014.
- [8] F. Ramli, M. Jailani, H. Unjar, H. M. R.Alkahari, and M. A. Abdullah, "Integrated Recycle System Concept For Low Cost 3D-Printer Sustainability," *Proceeding of Mechanical Engineering Research*, pp. 77-78, 2015.
- [9] A. K. Sood, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed part," *Materials & Desing*, vol. 31, no. 1, pp. 287-295, 2010.
- [10] W. Wang, T. Y. Wang, Z. Yang, L. Liu, X. Tong, W. Tong, J. Deng, F. Chen, X. And Liu "Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures," *ACM Trans. Graph*, vol. 32, no. 5, 2013.
- [11] S. Wilson, "A new face of aerospace honeycomb", *Materials & Design*, vol. 11, no. 6, pp. 323-326, 1990.
- [12] C. S. Lee, S.G. Kim, H. J. Kim, and S. H. Ahn, "Measurement of anisotropic compressive strength of rapid prototyping parts," *Journal of Materials Processing Technology*, pp. 627-630, 2007.
- [13] P. Calvert, "Free forming of polymers," *Polymers*, pp. 585-588, 1998.

- [14] M. Fantini, F. D. Crescenzo, F. Persiani, S. Benazzi, and G. Gruppioni, "3D restitution, restoration and prototyping of a medieval damaged skull," *Rapid Prototyping Journal*, pp. 318-324, 2008.
- [15] A. Bernard, A. Fischer, "New trends in rapid product development," *Industrial Engineering Research*, 2012.
- [16] I. Campbell, D. Bourell, and I. Gibson, "Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age," *Rapid Prototyping Journal*, pp. 255-258, 2012.
- [17] J. Piattoni, G.P. Candini, G. Pezzi, F. Santoni, F. Piergentili, and A. Astronautica, "Plastic Cubes at: An innovative and low-cost way to perform applied space research and hands-on education", *Acta Astronautica*, pp. 419-429, 2012.
- [18] L. Kashdan, C. C. Seepersad, M. Haberman, and P. S. Wilson, "Design, fabrication, and evaluation of negative stiffness elements using SLS," *Rapid Prototyping Journal*, pp. 194-200, 2012.
- [19] M. Vaezi, S. Chianrabutra, B. Mellor, and S. Yang, "Multiple material additive manufacturing- Part 1: A Review," *Virtual and Physical Prototyping*, pp. 19-50, 2013.
- [20] D. Qiu, and N. A. Langrana, "Void eliminating tool path for extrusion based multi-material layered manufacturing," *Rapid Prototyping Journal*, pp. 38-45, 2002.
- [21] T. Birtchnell, and J. Urry, "3D, SF and the future," *Futures*, vol. 50, pp. 25-34, 2013.
- [22] A. Lanzotti, M. Grasso, G. Staiano and M. Martorelli, "The impact of process parameters on mechanical properties of parts fabricated in PLA with an open-source 3-D printer," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 604-617, 2015.
- [23] M. Kam, A. İpekçi, and H. Saruhan, "Investigation of 3d printing filling structures effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G material products," *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, vol. 6, (ISMSIT2017) pp. 114-121, 2017.
- [24] M. Kam, H. Saruhan, and A. İpekçi, "Investigation the effects of 3D printer system vibrations on mechanical properties of the printed products", *Sigma J. Eng and Nat. Sci.*, vol. 36, no. 3, pp. 655-666, 2018.
- [25] A. İpekçi, M. Kam, and H. Saruhan, "Investigation of 3D printing occupancy rates effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G material products", *Journal of New Results in Science*, vol. 7, no. 2, pp. 1-8, 2018.
- [26] W. W. Focke, S. Joseph and J. Grimbeck, "Mechanical properties of ternary blends of ABS+ HIPS+ PETG", *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 48, no. 8, pp. 814-820, 2009.
- [27] M. Kam, H. Saruhan, A. İpekçi, "Investigation the Effect of 3D Printer System Vibrations on Surface Roughness of the Printed Products." *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7 no. 2, pp. 147-157, 2019.