

Eriyik Biriktirme Yönteminde Farklı Üretim Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Efecan Karaman^{1*}, Oğuz Çolak²

¹Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

²Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

*efecan.karaman@alanya.edu.tr

Özet

Eriyik Biriktirme Yöntemi, polimer esaslı malzemelerin üst üste katmanlar şeklinde birleştirilmesi mantığı ile üretim yapan ve gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşan bir eklemeli imalat teknolojisidir. Eriyik biriktirme yönteminde kullanılan cihazların düşük maliyetli olması, herhangi bir kesici takıma ihtiyaç duymadan karmaşık geometriye parçaların kısa üretim döngü sürelerinde üretilebilmesi ve düşük artık malzeme oranları gibi faktörler yöntemin sunduğu faydalar arasında gösterilebilmektedir. Yöntemde birçok farklı üretim parametresi bulunmakta ve bu parametreler ile üretilecek parçaların görsel ya da fonksiyonel özellikleri değişebilmekte ve amaca yönelik parça üretimi mümkün olmaktadır. Yöntemin kullanımının gittikçe yaygınlaşması, malzeme çeşitliliğinin artmasına da neden olmaktadır. Bu çalışmada, yeni nesil malzeme olarak adlandırılan ABS-plus termoplastik malzemesi kullanılarak eriyik biriktirme yönteminde test numuneleri üretilmiştir. Numuneler, farklı doluluk oranlarında ve farklı oryantasyon açılarında üretilerek çekme testlerine tabi tutulmuştur. Üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Doluluk oranlarındaki artış ve farklı oryantasyon açısına göre mekanik özelliklerin önemli oranda değiştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Eriyik Biriktirme Yöntemi, Üretim Parametreleri, ABS-Plus

Effect of Different Process Parameters on Mechanical Properties in Fused Deposition Modeling

Abstract

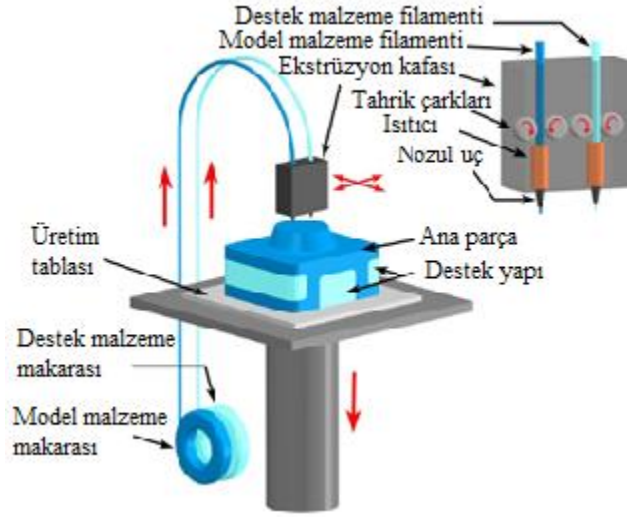
Fused Deposition Modeling is an additive manufacturing technology that is becoming widespread day by day. This method uses a polymer based materials in order to produce parts layer by layer. Different factors such as low cost of devices, production of complex geometry parts without need any cutting tools at short cycle times and low waste material ratios can be shown among the benefits of this technology. There are many different process parameters in Fused deposition modeling With these parameters functional or visual properties of parts can be changed and the production of purposeful parts is possible. The increasing use of the method leads to an increase in material diversity. In this study, test specimens were produced in the Fused deposition modeling method by using the new generation thermoplastic material called ABS-plus. Tensile tests were performed with these specimens produced by different orientation angles and infill rates. The effects of process parameters on mechanical properties were investigated. It was observed that the mechanical properties changed significantly with the increase in infill rates and the different orientation angles.

Keywords: Additive Manufacturing, Fused Deposition Modeling, Process Parameters, ABS-Plus

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat, 1980'li yılların sonlarında ortaya çıkan ve malzemenin eklenmesi mantığına dayalı üretim yapılan bir imalat yöntemidir. Eklemeli imalat teknolojilerinin her geçen yıl kullanım oranları artmakta ve yöntemin kullanıldığı alanlar giderek yaygınlaşmaktadır. Eklemeli imalatta üretim, geleneksel imalat yöntemlerinde bulunan, kesici takım yardımıyla malzeme eksilterek ürün üretme mantığının tersine kesici takıma ihtiyaç duyulmadan malzemenin katman katman birbiri üzerine yığılarak eklenmesi sureti ile gerçekleşmektedir [1]. Üretimde, geleneksel yöntemlerdeki gibi kesici takım vb. araçların kullanılmaması ve sıfırdan üretim mantığı sayesinde artık malzeme miktarları azalmakta ve takım maliyeti gibi faktörler ortadan kalkmaktadır [2]. Ayrıca geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan karmaşık geometrilere sahip parçaların eklemeli imalat ile kolay üretilebilir olması yöntemi daha avantajlı bir hale getirmektedir. Geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında, eklemeli imalat, ürün tasarım ve üretim döngüsü kısalmakta bu durum üretim maliyetini önemli oranda azaltmaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri oluşumundan bu yana; havacılık, otomotiv, medikal, mimari, eğitim gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır [3]. Bu teknolojiler, üretimde kullanılan malzeme ve üretim şekline göre üç ana grup altında toplanabilir. Bunlar; Sıvı malzemenin lazer ile kürlenmesi, toz malzemenin sinterlenmesi, katı malzemenin eritilerek yığılması ile ürün üretilmesi şeklindedir. Bu teknolojilerin başlıcaları; Fotopolimer Kütleme (Stereolithography- SLA), Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering- SLS) ve Eriyik Biriktirme Yöntemi (Fused Deposition Modeling- FDM) olarak gösterilebilmektedir [4].

Çalışmada, katı haldeki malzemenin eritilerek yığılması ile üretim yapan Eriyik Biriktirme Yöntemi (EBY) kullanılmıştır. Eriyik biriktirme yönteminde üretim, katı halde ve filament formundaki termoplastik esaslı hammaddenin, bir ısıtıcı eleman vasıtasıyla yarı eriyik hale dönüştürülmesi ve bir nozuldan geçerek platform üzerine katman katman yığılması ile gerçekleştirilmektedir. Üretilmesi planlanan üç boyutlu nesnenin tasarımı yapıldıktan sonra belirlenen parametrelere göre üretim gerçekleştirilir. EBY yönteminde birçok farklı üretim parametresi bulunmaktadır. Bu parametrelerden bazıları; katman kalınlığı [5], dolgu deseni [6], tabla sıcaklığı [7,8], nozul sıcaklığı [9], oryantasyon açısı [10,11], üretim hızı [12], doluluk oranı [13] olarak gösterilebilmektedir. Üretim parametreleri belirlendikten sonra stl formatındaki dosya dilimlenerek g-kodlar oluşturulur ve bu g- kod komut dosyasına göre ekstruder adı verilen üretim kafası, kodlarda belirtilen noktalarda hareket ederek katman katman malzeme yığılarak nihai ürünü oluşturmaktadır. Elde edilen ürünlerin kalitesi ve fonksiyonelliği yöntemde kullanılan üretim parametrelerine göre farklılık göstermektedir.



Şekil 1. Eriyik biriktirme yöntemi çalışma prensibi [14]

Eriyik biriktirme yönteminde kullanılan malzemeler polimer esaslı malzemelerdir. Yöntemde birçok farklı türde termoplastik malzeme kullanılabilir. Bu malzemelerden bazıları; ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren), PLA (Polilaktik Asit), PC (Polikarbon), PA (Poliamid), PETG (Polietilen Tereftalat Glikol), PVA (Polivinil Alkol) olarak gösterilebilir [15-18]. Bu yöntemde farklı türde malzemelerin kullanılabilir olması, sektörlerde ihtiyaca yönelik farklı malzeme arayışlarını ve malzemelerin geliştirilmesine yönelik çalışmaları başlatmıştır. Geleneksel yöntemlerde kompozit malzemelerin üretimi genellikle toz metalürjisi yöntemi kullanılarak farklı içeriklerdeki metal tozların karışımı ile gerçekleştirirken eriyik biriktirme yönteminde termoplastik matrislere karbon, cam elyaf gibi katkıların ilavesi ile ekstrüzyon yönteminde gerçekleştirilmektedir [19,20]. Eriyik biriktirme yönteminde kompozit malzemelerin kullanımına yönelik veya özellikleri geliştirilmiş termoplastiklerin kullanımına yönelik çalışmalar gittikçe artmaktadır. Filament üretici firmaların farklı malzeme arayışlarına yönelik çeşitli çalışmaları da bulunmaktadır. Bu termoplastiklere örnek olarak Esun firmasının ürettiği PLA-Plus ve ABS-Plus malzemeleri gösterilebilir [21]. Bunun yanı sıra Stratasys gibi farklı firmaların da bu tür termoplastik malzemelerin geliştirilmesi üzerine çalışmaları bulunmaktadır [22].

Yeni geliştirilen termoplastiklerin kullanımına yönelik literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, Nunez vd. [23], ABS-Plus malzeme kullanarak iki farklı katman kalınlığı (0,178 mm ve 0,254 mm) ve iki farklı doluluk oranında (%10, %100) üretilen ürünlerin boyutsal davranışlarını incelemiş, doluluk oranının artması ve katman kalınlığının azalmasının boyutsal doğruluğu arttırdığını tespit etmişlerdir. Vairis vd. [24] iki farklı katman kalınlığında (0,17 ve 0,25 mm) ürettikleri test numunelerin farklı çekme hızlarında (5, 10, 20 mm/min) çekme mukavemetine etkisi incelenmiştir. Savvakis vd. [25], bir başka çalışmada iki farklı katman kalınlığı (0,17 ve 0,25 mm) ve üç farklı oryantasyon açısı (0°, 90°, 45°) kullanarak ürettikleri test numunelerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. En yüksek çekme mukavemeti, 0,25 mm katman kalınlığı ve 90° oryantasyon açısında 20,68 MPa bulunurken en düşük mukavemet değeri 0,17 mm katman kalınlığı ve 0° oryantasyon açısında 18,58 MPa olarak bulunmuştur.

Literatürde ABS-Plus malzeme kullanılarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı doluluk oranında ve oryantasyon açısının birlikte kullanımı ile üretilen ABS-Plus malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmada, üç farklı doluluk oranı ve oryantasyon açısında ABS-Plus malzeme kullanılarak üretilen numunelerde üretim parametrelerinin mekanik özelliklere olan etkisi incelenmiş ve seçilen parametrelerin ve seviyelerinin üretilen ürünler üzerinde farklı mekanik özellikler gösterdiği görülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, Esun™ firmasına ait 1,75 mm çapa sahip ABS-Plus filamentleri kullanılarak test numuneleri üretilmiştir. tüm numuneler, ASTM D638, Tip-I standardına uygun olarak üretilmiştir. (numune kalınlığı 3 mm'dir). Eriyik biriktirme yönteminde, parça üretiminde farklı üretim parametreleri bulunmaktadır. Üretilen parçalardan istenilen özellikler doğrultusunda ve kullanılan malzeme özellikleri dikkate alınarak üretim parametreleri belirlenebilmektedir. Çalışmada kullanılan ABS-Plus malzemesine ait teknik özellikler üretici firma kataloğundan alınmıştır. Eriyik biriktirme yönteminde üretim parametrelerinin mekanik özelliklere olan etkisini incelemek amacıyla doluluk oranı ve oryantasyon açısı üretim parametreleri olarak belirlenmiş ve test numuneleri üretilmiştir. Üretimde kullanılan üç boyutlu yazıcı parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Üç boyutlu yazıcı parametreleri

Parametre	Değer
Nozul Çapı (mm)	0.4
Katman Kalınlığı (mm)	0.2
İlk Katman Kalınlığı (mm)	0.2
Katman Genişliği (mm)	1.2
Dolgu Deseni	Doğrusal
Nozul Sıcaklığı (°C)	235
Tabla Sıcaklığı (°C)	70
Üretim Hızı (mm/s)	40

Her parametre için üç farklı seviye belirlenerek üretimler gerçekleştirilmiştir. Üretim parametreleri ve bu parametrelerin seviyeleri, Tablo 2'de verilmiştir.

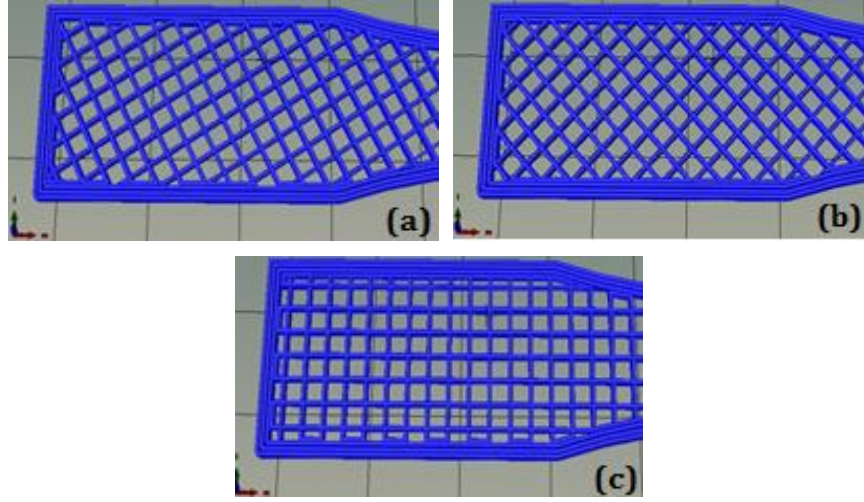
Tablo 2. Üretim parametreleri

Parametre	Değer		
Doluluk Oranı (%)	20	60	100
Oryantasyon Açısı (°)	30/-60	45/-45	90/0

Üç boyutlu yazıcılarda üretim ilk olarak üretimi yapılacak numunenin katı modelinin oluşturulması ile başlamaktadır. Daha sonra katı model stl formatına dönüştürülür ve dilimleme programlarında parametre seçimi yapılarak üretime hazır hale getirilmektedir. Stl dosya formatı ile tasarımı yapılan üç boyutlu modeller üçgensel bölgelere ayrılarak modeli matematiksel olarak tanımlamaktadır. Üç boyutlu yazıcıların çoğu stl formatında işlem yapmaktadır. Stl formatına dönüştürülen katı model, üç boyutlu yazıcıyı kontrol etmeyi ve üretim parametrelerinin belirlendiği dilimleme programlarını içinde barındıran Repetier Host™ programına aktarılır. Bu arayüz kullanılarak üç boyutlu yazıcı üzerinde üretilen parçanın konumu ayarlanabilmekte ve program içinde bulunan farklı dilimleme programları sayesinde üretim parametreleri belirlenebilmektedir. Dilimleme programları, üretim parametreleri belirlenen parçayı katmanlara böler ve üretim için gereken g kodları oluşturarak yazıcıya aktarmaktadır. Üç boyutlu yazıcılarda üretim, katman katman belirlenen parametrelerde gerçekleşmektedir.

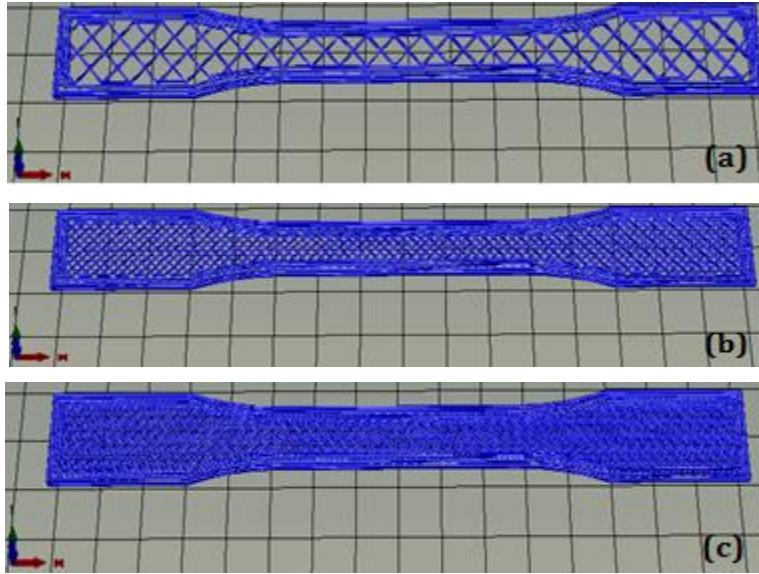
Çalışmada, numunelerin üretim parametreleri Slic3r™ dilimleme programı kullanılarak hazırlanmıştır. Kullanılan üç farklı oryantasyon açısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Her test numunesi 15 adet katmandan

oluşmuş ve tüm katmanlar Tablo 2.'de belirtilen oryantasyon açılarında doğrusal desen kullanılarak üretilmiştir.



Şekil 2. (a) 30°/-60° oryantasyon açısı, (b) 45°/-45° oryantasyon açısı ve (c) 90°/0° oryantasyon açısı

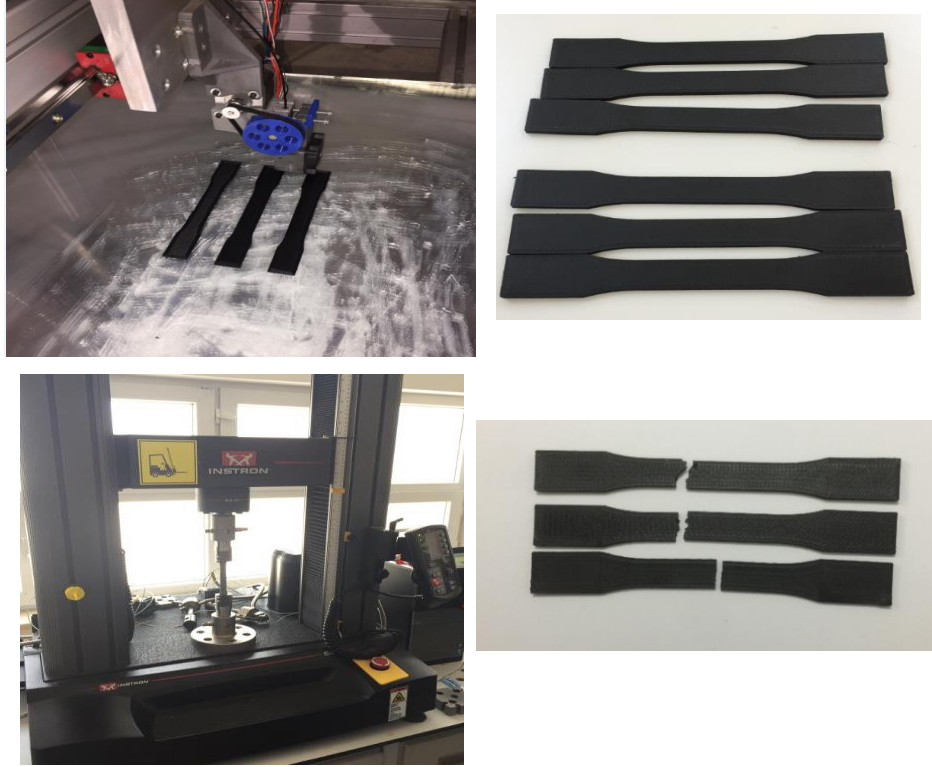
Üretimde kullanılan diğer parametre olan farklı doluluk oranları Şekil 3'te gösterilmiştir. Farklı doluluk oranları sayesinde üretim süresi ve kullanılan malzeme miktarları azaltılabilmekte ve amaca yönelik üretim gerçekleştirilebilmektedir. Çalışmada, üç farklı doluluk oranında üretilen numunelerin mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir.



Şekil 3. Farklı doluluk oranlarında test numuneleri (a) %20 doluluk oranı, (b) %60 doluluk oranı ve (c) %100 doluluk oranı

Deney numunelerinin üretiminde nozul sıcaklığı 235°C olarak seçilmiştir. Termoplastik malzemelerde soğuma esnasında büzülme meydana gelmekte ve tabla yüzeyinde çarpılmalar oluşarak üretim hataları meydana gelmektedir. Bu nedenle malzemede meydana gelebilecek çarpılmaları önlemek amacıyla tabla sıcaklığı 70°C olarak seçilmiştir. Diğer tüm parametreler Tablo 1'de verildiği gibi seçilmiş ve yazıcı üzerinde ayarlanmıştır. Her doluluk oranı ve oryantasyon açısı için 5'er adet test numunesi üretilmiştir.

Çekme deneyleri 30 kN yük kapasitesine sahip ve 5 mm/min test hızında Instron 5967 çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. Tüm veriler 0,1 s aralıklarla kayıt altına alınmıştır. Numunelerin ölçüm boyları 50 mm'dir. ASTM D638 standardında belirtilen çekme şartlarına göre tüm deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin üretimi ve çekme testleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

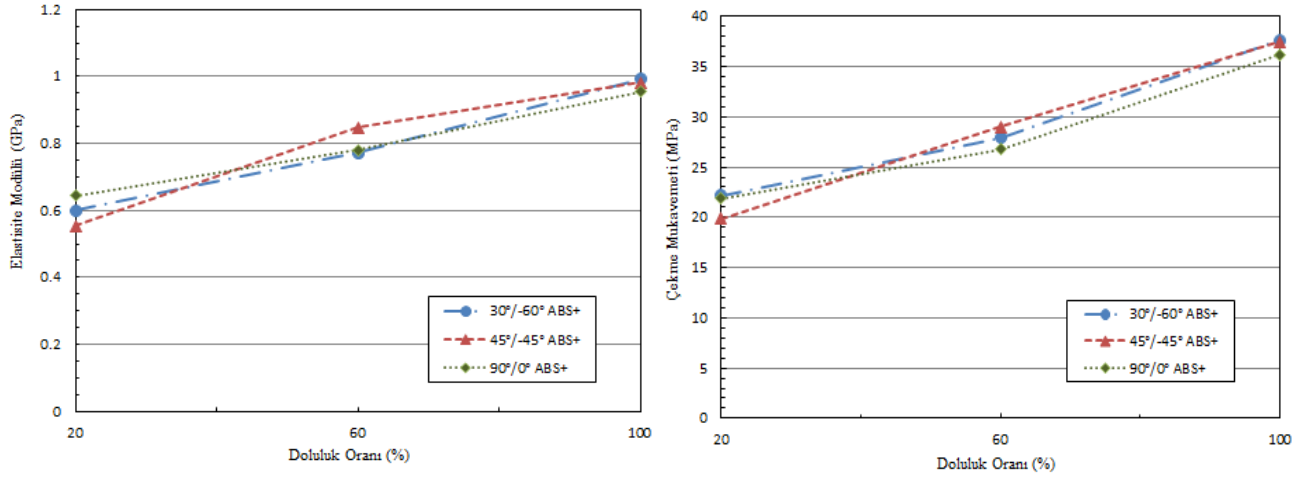


Şekil 4. Test numunelerinin üretimi ve çekme testleri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

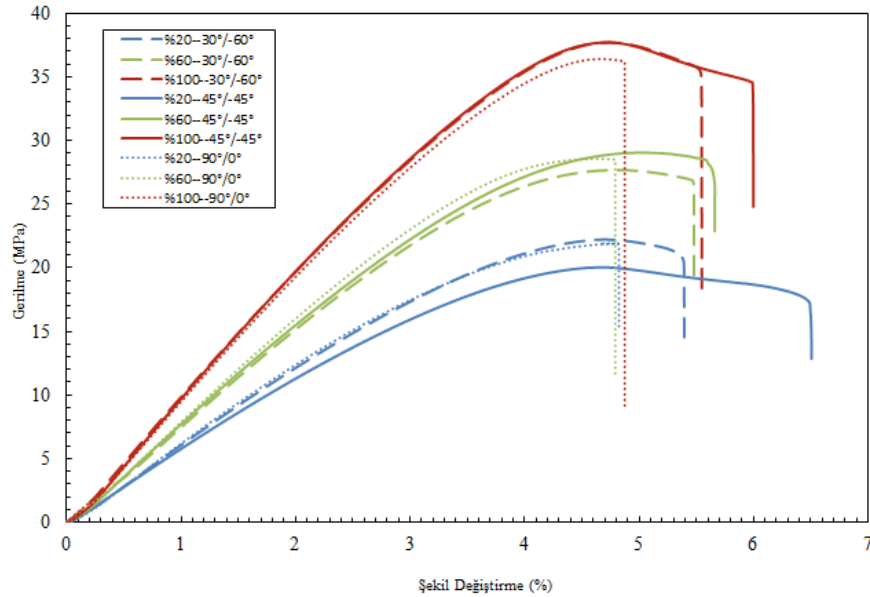
Çekme deneyi sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak, farklı oryantasyon açıları ve farklı doluluk oranlarının malzemenin çekme mukavemeti ve elastisite modülüne olan etkisini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 5'te verilmiştir.

Doluluk oranının artması ile $30^\circ/-60^\circ$, $45^\circ/-45^\circ$, $90^\circ/0^\circ$ oryantasyon açılarında üretilen numunelerin çekme mukavemeti ve elastisite modüllerinde artış meydana gelmiştir. %20 doluluk oranında 20 MPa civarında olan çekme mukavemeti değerleri, %100 doluluk oranında 37 MPa değerlerine ulaşmıştır. Elastisite modülü değerleri de çekme mukavemetinde olduğu gibi %20 doluluk oranında 0,6 GPa civarında iken %100 doluluk oranında 1 GPa değerine yaklaşmıştır. %100 doluluk oranında ve $30^\circ/-60^\circ$ oryantasyon açısında 37,67 MPa çekme mukavemeti ve 0,99 GPa elastisite modülü ile en yüksek değerler elde edilirken, $45^\circ/-45^\circ$ oryantasyon açısında 37,57 MPa çekme mukavemeti, 0,98 GPa elastisite modülü ve $90^\circ/0^\circ$ oryantasyon açısında 36,28 MPa çekme mukavemeti, 0,95 GPa elastisite modülü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Farklı doluluk oranı ve oryantasyon açılarının çekme mukavemetine ve elastisite modülüne etkisi

Gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 6'da verilmiştir. ABS-Plus malzemesinin farklı oryantasyon açıları ve farklı doluluk oranlarında şekil değiştirme miktarları incelendiğinde 45°/-45° oryantasyon açısında en yüksek yüzde uzama %6,42 olarak bulunurken, 90°/0° oryantasyon açısında en düşük yüzde uzama %4,78 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Farklı doluluk oranı ve oryantasyon açılarındaki gerilme-şekil değiştirme eğrisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ABS-Plus malzemesi kullanılarak farklı oryantasyon açıları ve farklı doluluk oranlarında test numuneleri üretilmiş ve çekme deneylerine tabi tutularak mekanik özellikleri incelenmiştir. Literatürde eriyik biriktirme yönteminde ABS-Plus malzemesi kullanılarak farklı doluluk oranları ve oryantasyon açılarında üretilen test numunelerinin mekanik özelliklerinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Eriyik biriktirme yönteminde tasarım ve üretim sürecinde birçok farklı üretim parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler; sıcaklık, hız, katman kalınlığı, dolgu deseni, oryantasyon açısı, doluluk oranı gibi örneklenebilir. Bu çalışmada sıcaklık, hız, katman kalınlığı gibi parametreler sabit tutulurken oryantasyon açısı ve doluluk oranı parametreleri üzerinde değişiklikler yapılarak mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, doluluk oranları ve oryantasyon açılarının mekanik özellikler üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir. Doluluk oranı arttıkça çekme mukavemetinde %70'e yakın, elastisite modülünde ise %60'a yakın artış meydana gelmiş ve mekanik özellikler iyileşmiştir. En iyi mekanik özellikler %100 doluluk oranında ve 30°/-60° oryantasyon açısında 37,67 MPa çekme mukavemeti ve 0,99 GPa elastisite modülü olarak elde edilmiştir.

Şekil değiştirme oranlarına bakıldığında, 45°/-45° oryantasyon açısındaki numuneler tüm doluluk oranlarında, 30°/-60° ve 90°/0° oryantasyon açısındaki numunelere göre daha fazla yüzde uzama göstermiştir. En yüksek yüzde uzama miktarı %6,4 ile 45°/-45° oryantasyon açısında elde edilirken, en düşük yüzde uzama %4,7 ile 90°/0° oryantasyon açısında elde edilmiştir.

REFERANSLAR

- [1] Standard, A. S. T. M. (2012). F2792, standard terminology for additive manufacturing technologies. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania.
- [2] Brenken, B., Barocio, E., Favaloro, A., Kunc, V., & Pipes, R. B. (2018). Fused filament fabrication of fiber-reinforced polymers: A review. *Additive Manufacturing*, 21, 1-16.
- [3] Ning, F., Cong, W., Qiu, J., Wei, J., & Wang, S. (2015). Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. *Composites Part B: Engineering*, 80, 369-378.
- [4] Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., & Conejero, A. (2016). Effect of infill parameters on tensile mechanical behavior in desktop 3D printing. *3D printing and additive manufacturing*, 3(3), 183-192.
- [5] Anitha, R., Arunachalam, S., & Radhakrishnan, P. (2001). Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling. *Journal of Materials Processing Technology*, 118(1-3), 385-388.
- [6] Ahn, S. H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S., & Wright, P. K. (2002). Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid prototyping journal*, 8(4), 248-257.
- [7] Choi, Y. H., Kim, C. M., Jeong, H. S., Youn, J. H. (2016). Influence of bed temperature on heat shrinkage shape error in FDM additive manufacturing of the ABS engineering plastic. *World Journal of Engineering and Technology*, 4(3), 186-192.

- [8] Spoerk, M., Gonzalez-Gutierrez, J., Sapkota, J., Schnuschnigg, S., Holzer, C. (2018). Effect of the printing bed temperature on the adhesion of parts produced by fused filament fabrication. *Plastics, Rubber and Composites*, 47(1), 17-24.
- [9] Reddy, B. V., Reddy, N. V., & Ghosh, A. (2007). Fused deposition modelling using direct extrusion. *Virtual and Physical Prototyping*, 2(1), 51-60.
- [10] Mohamed, O. A., Masood, S. H., & Bhowmik, J. L. (2017). Process parameter optimization of viscoelastic properties of FDM manufactured parts using response surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 8250-8259.
- [11] Chacón, J. M., Caminero, M. A., García-Plaza, E., & Núñez, P. J. (2017). Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. *Materials & Design*, 124, 143-157.
- [12] Qattawi, A., Alrawi, B., & Guzman, A. (2017). Experimental optimization of fused deposition modelling processing parameters: a design-for-manufacturing approach. *Procedia Manufacturing*, 10, 791-803.
- [13] Li, H., Wang, T., Sun, J., & Yu, Z. (2018). The effect of process parameters in fused deposition modelling on bonding degree and mechanical properties. *Rapid Prototyping Journal*, 24(1), 80-92.
- [14] Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q., & Li, D. (2016). Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 88, 198-205.
- [15] Tanikella, N. G., Wittbrodt, B., & Pearce, J. M. (2017). Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing. *Additive Manufacturing*, 15, 40-47.
- [16] Tymrak, B. M., Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2014). Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. *Materials & Design*, 58, 242-246.
- [17] Bähr, F., & Westkämper, E. (2018). Correlations between Influencing Parameters and Quality Properties of Components Produced by Fused Deposition Modeling. *Procedia CIRP*, 72(1), 1214-1219.
- [18] Skowyra, J., Pietrzak, K., & Alhnan, M. A. (2015). Fabrication of extended-release patient-tailored prednisolone tablets via fused deposition modelling (FDM) 3D printing. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 68, 11-17.
- [19] Topcu, İ., Güllüoğlu, A. N., Bilici, M. K., & Gülsoy, H. Ö. (2019). Investigation of wear behavior of Ti-6Al-4V/CNT composites reinforced with carbon nanotubes. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34(3), 1441-1449.
- [20] Topcu, İ., Gülsoy, H. O., & Güllüoğlu, A. N. (2019). Evaluation of Multi-Walled CNT particulate reinforced Ti6Al4V alloy based composites creep behavior of materials under static loads. *Gazi University Journal of Science*, 32(1), 286-298.
- [21] Esun. ABS-Plus. <http://www.esun3d.net/products/143.html>. Erişim Tarihi: Mart 15, 2019
- [22] Stratasy. Materials. <https://www.stratasy.com/materials>. Erişim Tarihi: Mart 15, 2019.
- [23] Nuñez, P. J., Rivas, A., García-Plaza, E., Beamud, E., & Sanz-Lobera, A. (2015). Dimensional and surface texture characterization in fused deposition modelling (FDM) with ABS plus. *Procedia Engineering*, 132, 856-863.

- [24] Vairis, A., Petousis, M., Vidakis, N., & Savvakis, K. (2016). On the strain rate sensitivity of abs and abs plus fused deposition modeling parts. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(9), 3558-3565.
- [25] Savvakis, K., Petousis, M., Vairis, A., Vidakis, N., & Bismeyev, A. T. (2014). Experimental determination of the tensile strength of fused deposition modeling parts. In *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress* (pp. V014T11A022-V014T11A022). American Society of Mechanical Engineers.