

3B Baskı Sürecinde Tarama Açısı ve Doluluk Oranının Boyutsal Uygunluğa Etkisi: ABS Malzeme Üzerine Bir Çalışma

Sedanur ŞEKER^{1,*}, Emine Seda ERDİNLER²

^{1,2} İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Makale Tarihiçesi

Gönderim: 13.05.2025

Kabul: 01.08.2025

Yayın: 30.08.2025

Araştırma Makalesi



Öz – Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüz 3 boyutlu yazıcı sistemlerinin kullanımı ve uygulanması yaygınlaşmıştır. 3 boyutlu yazıcılar mühendislik, inşaat, mimari, yapı endüstrisi gibi çeşitli sektörlerde aktif olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada 3 boyutlu yazıcı teknolojisinden yararlanılarak ABS tip filamentten üretilen örnek numunelerin farklı açılarda yapılan baskılarında boyutsal doğruluğu araştırılmıştır. Çalışmada aynı filament tipinden üç farklı doymunluk (%15,50,80) ve beş farklı baskı açısından (0°,30°,45°,60°,90°) yararlanılarak SolidWorks tasarım programında tasarlanan örnekler, Creality 6.0 programıyla G kodlaması yapıldıktan sonra, Creality K1 Max 3 boyutlu yazıcı ile basılmıştır. Çalışmada her farklı açı için 5 er numune basılmış ve doğrusal doğruluğu uzunluk x genişlik x kalınlık (Mitutuya Kumpas), ağırlık (Hassas terazi) ve görsel yüzey özelliklerine (Nikon T105 mikroskop) bakılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede baskıdan önceki boyutlar, dilimleme programındaki tahmini ağırlık karşılaştırılması da yapılarak nihai sonuçlara ulaşılmıştır. Ulaşılan sonuçlara göre; baskı açısının boyutsal doğruluk üzerinde etkili olduğu, bu doğruluğa açılar haricinde baskı doymunluğu ile doğrudan etkisi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – 3 boyutlu yazıcı, Boyutsal Doğruluk, ABS, EBM, Baskı açısı

Impact of Raster Angle and Infill Density on Dimensional Accuracy in 3D Printing: A Study on ABS Material

^{1,2} İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Article History

Received: 13.05.2025


Accepted: 01.08.2025


Published: 30.08.2025

Research Article

Abstract – With the advancement of technology, the use and implementation of modern 3D printing systems have become increasingly widespread. Today, 3D printers are actively utilized in various industries including engineering, construction, manufacturing, and architecture. This study investigates the dimensional accuracy of test specimens produced using ABS filament at different raster angles and infill densities in the vertical direction. Test specimens were designed in SolidWorks, and printed using the Creality K1 Max 3D printer after G-code generation in the Creality Print 6.0 software. The same filament type was used to print samples at five different raster angles (0°, 30°, 45°, 60°, and 90°) and three infill densities (15%, 50%, and 80%). For each raster angle, five specimens were produced. Dimensional accuracy was evaluated based on length × width × thickness measurements (Mitutoyo caliper), mass (precision scale), and surface quality (Nikon T105 microscope). Estimated pre-print weights from the slicing software were also compared to the actual printed weights. The results showed that both raster angle and infill density significantly influence the dimensional accuracy of printed parts. In particular, samples printed at 90° showed the closest dimensions to the original design, while 45° samples were found to be most accurate in terms of predicted weight.

Keywords – 3D printing, Dimensional Accuracy, ABS, FDM, Raster angle

¹  sedanur.seker@iuc.edu.tr

²  seda@iuc.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. Giriş

Erimiş Biriktirme Modelleme (FDM) veya Füzyon Filament Üretimi (FFF), Polilaktik Asit (PLA), Akrilonitril bütadien stiren (ABS), Sert Polilaktik Asit (Sert PLA), Naylon, Akrilik, Polietilen Tereftalat Glikol (PETG), Polietereterketon (PEEK) vb. gibi termoplastik filamentler kullanılarak nesnelere katman katman oluşturan gelişmiş bir katkı üretim sürecidir. Süreç, ince yatay katmanlara kesilmiş bir dijital modelle başlar (Aniket ve ark. 2023).

Erimiş filament üretimi (FFF) ile yapılan parçalar, çeşitli uygulamalarda nihai bileşenler olarak giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır (Mwema ve Akinlabi, 2020). Başka bir deyişle, katkı maddesi üretim teknolojileri, tasarım özgürlüğü ve ekstra maliyetler olmaksızın karmaşık parçaların üretimi sayesinde parça üretimini yeniden tanımlamayı sağlamaktadır (Rashid, 2019). Bu teknolojinin gelişmesi, özellikle polimer üretiminde ticari mühendislik endüstrisinde geleneksel yöntemlerin yerini almaya başlamıştır (Tofail ve ark., 2018). Günümüzde, işlenmiş FFF bileşenleri otomobiller, ev aletleri, havacılık, tıbbi alanlar, bilgisayarlar ve makine yapımı dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Penumakale ve ark., 2020). Bu sürecin faydaları basit malzeme işleme, düşük bakım maliyetleri, sorunsuz servis, kompakt boyut ve düşük çalışma sıcaklığıdır (Kristiawan ve ark. 2021; Tognana ve ark., 2021). FFF sırasında, nozul X–Y yönünde hareket eder ve termoplastik ip, Z ekseninin hareketiyle yapı platformuna beslenir sonrasında termoplastik malzeme, biriktirmeden kısa bir süre sonra önceki katmana katılaşabilmesini sağlamak için erime noktasının üzerinde ısıtılmaktadır (Jayanth ve ark., 2018). FFF'deki çeşitli parametreler, üretilen parçalar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tüm bu parametreler, biriktirilen katmanlar arasında ve içinde bir bağ görevi görmektedir (Dey ve Yoda, 2019).

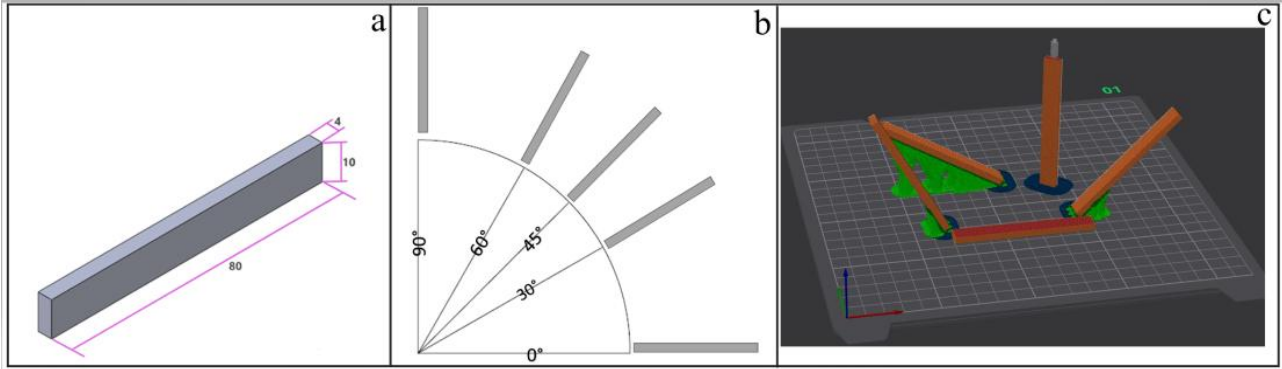
FDM üretim sürecinin temel konsepti, basitçe ham maddeyi eritmek ve yeni şekiller oluşturmak için onu şekillendirmektir. Malzeme, bir ruloya yerleştirilmiş, bir tahrik tekerleği tarafından çekilen ve ardından sıcaklık kontrollü bir nozul başlığına yerleştirilen ve yarı sıvı hale gelene kadar ısıtılan bir filamenttir. Nozul, katman katman yapısal elemanlar üretmek için malzemeleri ultra ince katmanlar halinde hassas bir şekilde ekstrüde eder ve yönlendirir. Bu, genellikle FDM çalışma sistemine eklenen CAD programı tarafından belirtilen katmanın konturlarını takip eder (Huynh ve ark., 2017; Mitchell ve ark., 2018). 3 boyutlu yazıcılarda üretim hızlı ve seri yapılabilmektedir ancak üretimi yapılan parçaların boyutsal doğruluğu nedeniyle katmanlarda bozulmalar yaşanabildiğinden dijital tasarımların boyutsal doğruluğu büyük önem taşımaktadır. Nunez ve ark. (2015), ABS-Plus malzemesi kullanarak yaptıkları çalışmada, hızlı prototipleme ile üretilen parçaların boyutsal doğruluğunu, yüzey düzlüğünü ve yüzey dokusunu belirlemeyi amaçlamışlardır. Elde ettikleri bulgular, FDM tipi 3 boyutlu yazıcılarda üretim süreçlerinin optimize edilmesine katkı sağlamış ve daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak tanımıştır. Aynı araştırma grubu tarafından yürütülen devam niteliğindeki çalışmada, üretim parametrelerinin parça kalitesi üzerindeki etkileri daha detaylı incelenmiş, böylece FDM sürecinin iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Pennington ve ark. (2005), ABS malzemesi kullanarak parçanın baskı konumunun, büyüklüğünün ve yatak sıcaklığının üretim doğruluğu üzerine önemli etkileri olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca katman kalınlığı, baskı hızı ve yol genişliğinin yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini vurgulamışlardır. Vidakis ve ark. (2023), ABS ile infill oranı, raster açısı, yatak/nozul sıcaklığı, katman kalınlığı gibi altı farklı parametreyi inceleyerek bu faktörlerin porozite, boyutsal doğruluk ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde büyük etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır. Padhi ve ark. (2017) tarafından sunulan çalışmanın amacı, raster genişliği, dolgu açısı, hava boşluğu, numunenin yönü ve katman kalınlığı değiştirildiğinde yazarlar tarafından önerilen bir CAD modelinin boyut sapmasını değerlendirmiş ve numuneleri ABS'den yapılmıştır. Peng ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, katman kalınlığının etkisini incelemek amacıyla, kendi geliştirdikleri bir CAD geometrisinin baskısını gerçekleştirmişlerdir. Üretim için ABS malzemesi kullanılmış olup, işleme süresi ve boyutsal doğruluk temel değerlendirme kriterleri olarak belirlenmiştir. Literatürde, ABS ve PLA malzemeleri model malzemeler olarak ele alınarak FDM baskı sürecinde parametre optimizasyonuna yönelik yoğun çalışmalar yapılmıştır. Ancak, Fused Filament Fabrication (FFF) yönteminde, parça kalitesi ve malzeme özellikleri üzerinde birbirleriyle

çelişen çok sayıda parametrenin etkisi bulunması sebebiyle, optimum baskı parametrelerinin belirlenmesi hâlen önemli bir araştırma alanı ve teknik zorluk teşkil etmektedir. Camposeco-Negreth (2020) FDM yöntemiyle ASA malzemesi kullanılarak üretilen parçaların işleme süresi, enerji tüketimi ve boyutsal doğruluğunu optimize etmeyi amaçlamıştır. Taguchi yöntemi kullanılarak katman kalınlığı, doldurma deseni, yönlendirme açısı, baskı düzlemi ve parçanın tabla üzerindeki konumu gibi beş parametre incelenmiştir. Baskı düzlemi işleme süresi ve enerji tüketimini en çok etkileyen faktör olmuştur. Doldurma deseni genişlik doğruluğunu etkilemiştir. Katman kalınlığı uzunluk doğruluğunu belirlemiştir. Kalınlık doğruluğu baskı düzleminde en çok etkilenmiştir. Çalışma FDM baskı süreçlerinin verimlilik ve kalite açısından optimizasyonuna katkı sağlamaktadır. Mohamed ve ark. (2016), raster açısı, raster genişliği, parçanın yönü, hava boşluğu, katman kalınlığı ve kontur sayısı değiştirildiğinde ve PC-ABS karışımı malzeme kullanıldığında FDM ile elde edilen numunelerin boyut doğruluğunu incelemiştir. Parça yönelimi ve raster açısı, mekanik özellikleri etkileyen önemli işlem parametreleridir. Ahn ve ark. (2002) çalışmalarında, FDM parametrelerinin anizotropik malzeme özelliklerini etkilediğini göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı, 3 boyutlu yazıcı kullanılarak ABS tipi filamentle üretilen parçaların, farklı baskı açılarıyla üretildiğinde gösterdiği boyutsal doğruluğu değerlendirmektir. Üretim parametrelerinin, özellikle de raster açısının, nihai ürünün geometrik hassasiyeti üzerindeki etkilerini ortaya koymak hedeflenmiştir.

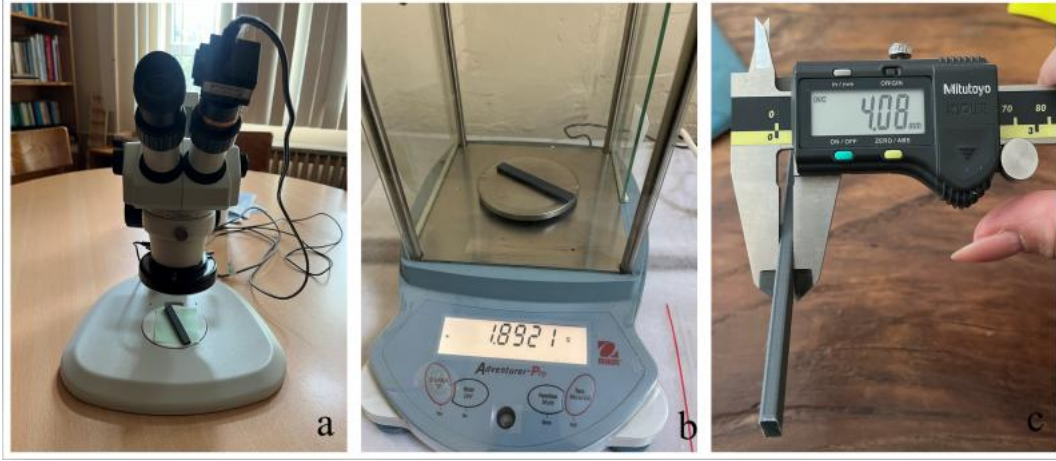
2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, farklı raster açılara sahip numuneler, akrilonitril bütadien stiren (ABS) malzemesi kullanılarak dikey ekseninde basılmıştır. ABS yüksek mekanik mukavemete sahip, düşük maliyetli ve çeşitli alanlarda kullanılabilirdiğinden bu çalışma için de uygun bulunmuştur. Kullanılan malzeme filament üreticisi bir firmadan hazır halde temin edilmiştir. Farklı açılarda ($0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) basılan numuneler 3 farklı doyumlukta (%15,50,80) da değerlendirilmiştir. Boyutsal doğruluğu araştırmada kullanılan örnek numuneler ($80 \times 10 \times 4$ mm) SolidWorks tasarım programında tasarlanmış (Şekil 1.a), STL formatında kaydedilen tasarımlar Creality Print 6.0 programı ile G kod ataması yapıldıktan sonra (Şekil 1.c), $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ açılarda (Şekil 1.b) Creality K1 MAX cihazı kullanılarak basılmıştır.



Şekil 1. Numunelerin hazırlanması; a. Programda tasarımın oluşturulması, b. Açıların belirlenmesi, c. G kodu tanımlaması için programın kullanılması.

Her farklı açı için 5'er numune basılmış ve doğrusal doğruluğu uzunluk x genişlik x kalınlık (Mitutuya Kumpas) (Şekil 2.c), ağırlık (Hassas terazi) (Şekil 2.b) ve görsel yüzey özelliklerine (Nikon T105 mikroskop) (Şekil 2a) bakılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmede baskıdan önceki boyutlar, dilimleme programındaki tahmini ağırlık karşılaştırılması da yapılarak nihai sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 2. Değerlendirmede kullanılan cihazlar; a. Mikroskop, b. Hassas terazi, c. Kumpas

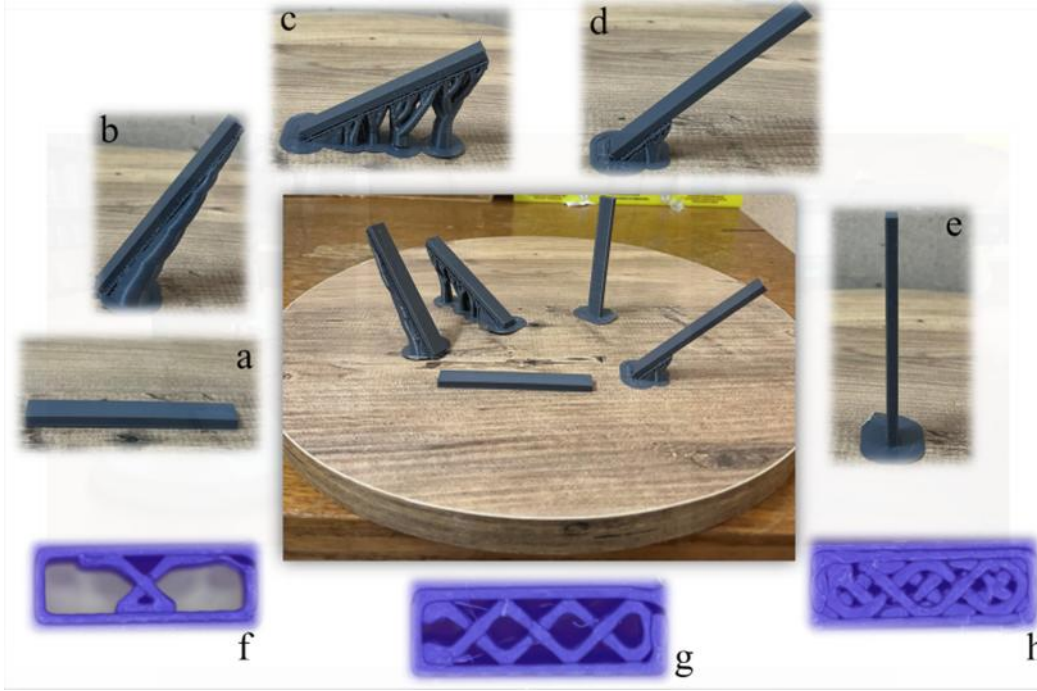
3 boyutlu yazıcı özelliklerinden doygunluk ve raster açısı değiştirilerek çalışma yapılmıştır. Bu özellikler haricinde makine özellikleri Tablo 1 de olduğu gibi sabit bırakılmıştır. Ayrıca tasarımlardaki açıları oluşturmayı sağlayan destekler tüm açı tiplerinde aynı şekilde tasarlanmış ağırlık ölçümleri sırasında da gerçek ağırlıktan düşülerek değerlendirilmiştir.

Tablo 1. 3 boyutlu yazıcı sabit makine parametreleri

Parametre	Değer
Katman yüksekliği	0.3mm 0.2
Nozül boyutu	0.4mm
Yazıcı hızı	50mm/sn
Dış katman hızı	25mm/sn
İç katman hızı	35mm/sn
İç dolgu hızı	50mm/sn
Dolgu şekli	monotonik
Nozül sıcaklığı	260°C
Yatak sıcaklığı	65°C
Alt-üst katman	3 katman

3. Bulgular ve Tartışma

ABS filament malzemesi kullanılarak, 5 farklı raster açısında ve 3 farklı doluluk oranında test numuneleri üretilmiştir. Üretilen test numunelerine ait görseller Şekil 3'te sunulmuştur. Şekilde, her bir raster açısı için üretilmiş örnek numunelere ait genel görünüşler (Şekil 3.a.b.c.d.e) ile birlikte, üç farklı doluluk oranında üretilmiş numunelerin mikro yapısal farklarını ortaya koyan mikroskop görüntüleri (Şekil 3.f.g.h) de yer almaktadır.



Şekil 3. Test objesi; a. 0° açıyla, b. 60° açıyla, b. 45° açıyla, d. 30° açıyla, e. 90° açıyla basılmış örneklerdir; f. %15 doygunluk, g. %50 doygunluk, h. %80 doygunluk göstermektedir.

Numunelerin baskı sonrası boyutsal doğruluk ölçümleri, %15 dolgu oranında Tablo 2’de, %50 dolgu oranında Tablo 3’te ve %80 dolgu oranında Tablo 4’te sunulmuştur. Baskı öncesi öngörülen ağırlık değerleri destek yapıları kullanılmadan hesaplanmıştır. Her dolgu oranı için baskısı alınan beşer örneğin ortalama değerleri tablolar aracılığıyla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, baskı açısı ve dolgu oranının boyutsal doğruluk üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, Vidakis ve ark. (2023) ile Campo-seco-Negreth (2020) tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu olarak literatürde desteklenmektedir.

Tablo 2

%15 doygunlukta basılan numunelerin boyutsal değişimi

Raster Açı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Baskı Öncesi öngörülen ağırlık (mm)
0°	79.50	10.48	3.92	1.78	2.10
30°	79.56	10.03	4.09	1.89	2.90
45°	79.71	9.97	4.06	1.93	2.21
60°	79.74	10.08	4.02	1.94	2.23
90°	79.94	10.00	4.08	1.89	2.18

Tablo 3

%50 doygunlukta basılan numunelerin boyutsal değişimi

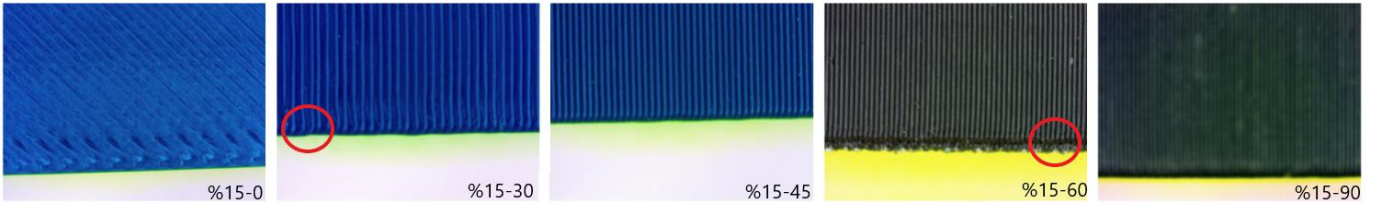
Raster Açı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Baskı Öncesi öngörülen ağırlık (mm)
0°	79.45	10.35	4.02	2.37	2.50
30°	79.70	10.02	3.95	2.32	2.52
45°	79.67	9.98	4.04	2.40	2.48
60°	79.50	10.10	4.01	2.42	2.58
90°	79.69	9.99	4.07	2.33	2.53

Tablo 4

%80 doygunlukta basılan numunelerin boyutsal değişimi

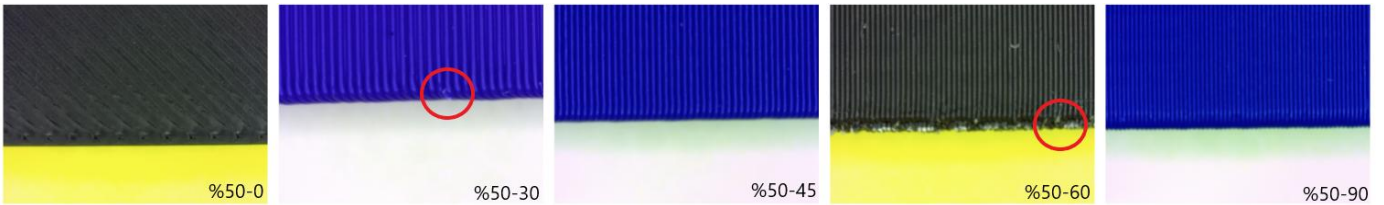
Raster Açı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Baskı Öncesi öngörülen ağırlık (mm)
0°	79.54	9.96	4.10	2.81	2.90
30°	79.63	10.04	3.88	2.65	2.84
45°	79.73	9.98	4.00	2.45	2.56
60°	79.80	10.01	4.01	2.80	2.92
90°	79.82	10.03	4.03	2.87	2.95

Numunelerin baskı alındıktan sonra uzunluk, genişlik, kalınlık ve ağırlık boyutsal değişimlerinin yanı sıra arada oluşan farklılıklarının baskı kalitesi ile ilgili olup olmadığına bakmak üzere mikroskop kullanılmıştır. Mikroskop görüntüleri Şekil 4 te %15 doygunlukta, Şekil 5 te %50 doygunlukta, Şekil 6 da %80 doygunlukta bakılmak üzere değerlendirilmiştir.



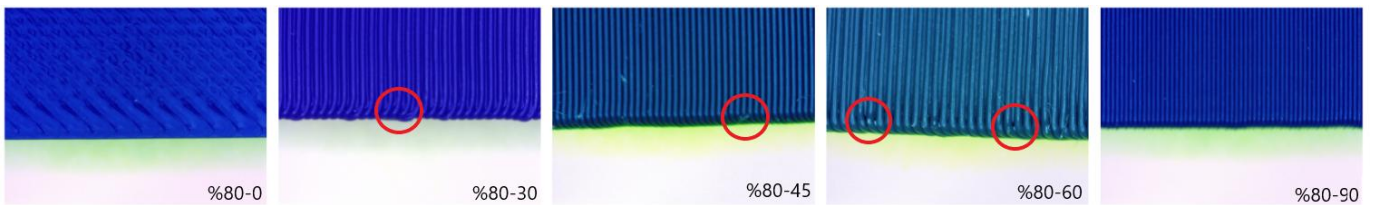
Şekil 4. %15 doygunlukta basılan numunelerin her farklı açıdan mikroskop altında birer örnek görseli

ABS filamentten %15 doygunlukta basılan numunelerin mikroskop altındaki görsellerinde 0°, 45° ve 90° açılarla basılan numunelerde yüzeylerde pürüz görülmemişken, 30° ve 60° açılarla basılan numunelerde kenar kısımlarda çapaklanmalar ve baskı hataları gözlemlenmiştir.



Şekil 5. %50 doygunlukta basılan numunelerin her farklı açıdan mikroskop altında birer örnek görseli

ABS filamentten %50 doygunlukta basılan numunelerin mikroskop altındaki görsellerinde 0°, 45° ve 90° açılarla basılan numunelerde yüzeylerde pürüz görülmemişken, 30° ve 60° açılarla basılan numunelerde kenar kısımlarda çapaklanmalar ve baskı hataları gözlemlenmiştir.



Şekil 6. %80 doygunlukta basılan numunelerin her farklı açıdan mikroskop altında birer örnek görseli

ABS filamentten %80 doygunlukta basılan numunelerin mikroskop altındaki görsellerinde 0° ve 90° açılarla basılan numunelerde yüzeylerde pürüz görülmemişken, 45° açıyla basılan numunelerde diğer iki açıyla kıyaslandığında baskı hatalarının olduğu, 30° ve 60° açılarla basılan numunelerde kenar kısımlarda çapaklanmalar ve baskı hataları gözlemlenmiştir.

Çapaklanma ve baskı hataları genel olarak değerlendirildiğinde, 30° ve 60° baskı açılarıyla üretilen numunelerde bu tür kusurların daha sık meydana geldiği belirlenmiştir. Bu durumun, söz konusu açılarda kullanılan destek yapıların yetersizliği veya destek kalitesinin düşüklüğü ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

Teknolojinin gelişmesi ile 3 boyutlu yazıcı sistemlerinin de entegre olarak geliştirilmesi ve bu sistemlerinin inşaat, tıp, endüstri, mühendislik, mimarlık vb birçok alanda kullanımı ve uygulaması yaygınlaşmıştır. Yazıların çalışma prensibi bilgisayar destekli bir tasarım programıyla tasarlanan numunelerin, G kodlarını kullanarak farklı filament tiplerinde basmasıyla olmaktadır. Sistemde literatür de incelendiğinde tasarımdan, G kodlamaya, makine özelliklerinden filament özelliklerine birçok parametrenin değiştirilerek farklı çalışmaların, aynı veya tam tersi sonuçların çıktığı bir alan da olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, ABS filament kullanılarak farklı doluluk oranlarında ve çeşitli raster açılarıyla üretilmiş test numuneleri incelenmiştir. Üretilen parçaların boyutsal doğruluğu ve yüzey özellikleri değerlendirilerek, parça kalitesi üzerindeki etkileri ortaya konmuştur. Çıkan sonuçlar;

1. ABS filament ile dikey yönde %15 doyumlukta basılan numunelerin ortalamasına bakıldığında; 90° açıyla basılan numune ortalamasının tasarım boyutlarına en yakın boyutlarda çıktığı, 45° açıyla basılan numunenin ise makine parametrelerinde öngörülen ağırlığa en yakın ağırlık olarak hesaplandığı belirlenmiştir. %15 doyumlukta her iki parametreyi de en yakın değer sağlayan bir açı ortaya konulamamıştır.
2. ABS filament ile dikey yönde %50 doyumlukta basılan numunelerin ortalamasına bakıldığında; 30° açıda uzunlukta en yakın değer, 90° açıdan en yakın genişlik değerinin ve 60° açıda en yakın kalınlık değerine ulaşıldığı, 45° açıyla basılan numunenin ise makine parametrelerinde öngörülen ağırlığa en yüksek uyumu göstermiş olup %15 doyumlukta numunelere göre daha az sapmalar olduğu belirlenmiştir.
3. ABS filament ile dikey yönde %80 doyumlukta basılan numunelerin ortalamasına bakıldığında; 60° açıda basılan numune ortalamasının tasarım boyutlarına en yakın boyutlarda çıktığı ve aynı açıda makine parametrelerinde öngörülen ağırlığa en yakın ağırlık olarak hesaplandığı belirlenmiştir.
4. ABS filament ile dikey yönde basılan numunelerin baskı yüzey hatalarına bir mikroskop ile bakılmıştır. Sonuçlara göre %15 ve %50 doyumlukta 0°, 45° ve 90° açılarda basılan numunelerde hata saptanmamışken, %80 doyumlukta basılanlarda 45° da hatalar gözlemlenmiştir. Tüm baskılardaki 30° ve 60° açılarda yüzeylerde çapaklanmalar ve baskı hataları da belirlenmiştir.

Tüm bulgular değerlendirildiğinde, farklı filament türleri, raster açıları, doluluk oranları ve makine parametrelerinde yapılan değişikliklerin, üretilen parçaların boyutsal doğruluğu üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalar, uygun parametre kombinasyonlarının seçilmesi durumunda hedeflenen boyutsal toleranslara ulaşılabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle düşük doluluk oranlarında malzeme birikimi daha az olduğundan, geometrik sapmaların daha belirgin olduğu; buna karşılık yüksek doluluk oranlarında boyutsal doğruluğun arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, FDM yöntemiyle üretilecek parçaların hem boyutsal doğruluğunu hem de yüzey kalitesini optimize edebilmek için üretim öncesi doğru parametre seçiminin kritik öneme sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu çalışma, farklı üretim senaryolarında elde edilen veriler ışığında, 3D baskı süreçlerinin daha kontrollü ve öngörülebilir şekilde yürütülebilmesine katkı sağlamaktadır.

Yazar Katkıları

Yazar Sedanur ŞEKER: fikir/kavram, veri toplama, literatür taraması, analiz, yorum ve yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Yazar E. Seda ERDİNLER: fikir/kavram, veri toplama, literatür taraması, analiz, yorum ve yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Kaynaklar

- Ahn, S.-H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S. and Wright, P.K. (2002). Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid Prototyping Journal* 8 (4), 248-257.
- Aniket, Y., Piyush, R., Atul, B., Ranvijay, K., Nishant, R., Jasgurpreet, S. C.; Raman, K.; Manish, G. (2023). Fused filament fabrication: a state-of-the-art review of the technology, materials, properties and defects. *Int. J. Interact. Des. Manuf* 17(6), 2867–2889. <https://doi.org/10.1007/s12008-022-01026-5>
- Camposeco-Negrete, C. (2020). Optimization of FDM parameters for improving part quality, productivity and sustainability of the process using Taguchi methodology and desirability approach, *Prog. Addit. Manuf.* 5 (1), 59-65. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05555-9>
- Dey, A. and Yodo, N. (2019). A systematic survey of FDM process parameter optimization and their influence on part characteristics, *J. Manuf. Mater. Process* 3 (3), 64. <https://doi.org/10.3390/jmmp3030064>
- Huynh, H.N., Nguyen, A.T., Ha, N.L., Thai, T.T.H. (2017) Application of fuzzy Taguchi method to improve the dimensional accuracy of fused deposition modeling processed product, In: *International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)* 107–112.
- Jayanth,N., Senthil, P. and Prakash, C. (2018). Effect of chemical treatment on tensile strength and surface roughness of 3Dprinted ABS using the FDM process, *Virtual Phys. Prototyp.*, 13 (3) 155-163. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1449565>
- Kristiawan, R. B., Imaduddin, F., Ariawan, D., Arfin, Z. (2021). A review on the fused deposition modeling (FDM) 3D printing: filament processing, materials, and printing parameters. *Open Eng.*, 11 (1) 639-649. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0063>
- Mohamed, O.A., Masood, S.H., Bhowmik, J.L. (2016). Optimization of fused deposition modeling process parameters for dimensional accuracy using I-optimality criterion. *Measurement* 81,174–196 <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.12.011>
- Mitchell, A., Lafont, U., Hołyńska, M., Semprimoschnig, C. (2018). Additive manufacturing – a review of 4D printing and future applications. *Addit Manuf*, 24,606–26. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.038>
- Mwema, F. M. and Akinlabi, E. T. (2020). Basics of fused deposition modelling (FDM), *Fused Deposition Modeling*, Springer International Publishing, Cham, 1-15. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48259-6_1
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.570>
- Padhi, S.K., Sahu, R.K., Mahapatra, S.S., Das, H.C., Sood, A.K., Patro, B., Mondal, A.K. (2017). Optimization of fused deposition modeling process parameters using a fuzzy inference system coupled with Taguchi philosophy. *Int J Adv Manuf Technol* 5,231–242 <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0187-4>
- Peng, A., Xiao, X., Yue, R. (2014). Process parameter optimization for fused deposition modeling using response surface methodology combined with fuzzy inference system. *Int J Adv Manuf Technol* 73,87–100 <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5796-5>
- Pennington, R.C., N.L. Hoekstra, and J.L. (2005). Newcomer, Significant factors in the dimensional accuracy of fused deposition modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 219(1): p. 89-92.
- Penumakala, P. K., Santo, J. and Thomas, A. (2020). A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites. *Compos. B. Eng.*, 201, 108336.

<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108336>

- Rashid, A. (2019). Additive manufacturing technologies. In: *Laperriere L, Reinhart G (eds) The CIRP encyclopedia of production engineering*, Springer, Berlin <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53120-4>
- Tofail, S. A. M., Koumoulos, E.P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities, *Mater. Today (Kidlington)*, 21 (1), 22-37. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>
- Tognana, S., Montecinos, S., Gastien, R., Salgueiro, W. (2021). Influence of fabrication parameters on the elastic modulus and characteristic stresses in 3D printed PLA samples produced via fused deposition modelling technique. *J. Polym. Eng.*, 41 (6), 490-498. <https://doi.org/10.1515/polyeng-2021-0019>
- Vidakis, N., David, C., Petousis, M., Sagris, D., Mountakis, N. (2023). Optimization of key quality indicators in material extrusion 3D printing of acrylonitrile butadiene styrene: The impact of critical process control parameters on the surface roughness, dimensional accuracy, and porosity. *Materials Today Communications*, 34, 105171. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.105171>