

### 3 BOYUTLU YAZICI İLE FARKLI RENKLERDE VE FARKLI DOLGU DESENLERİNDE ÜRETİLEN ÇEKME TEST NUMUNELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

*Muhammed Safa KAMER* \*   
*Şemsettin TEMİZ* \*\*   
*Hakan YAYKAŞLI* \*\*\*   
*Ahmet KAYA* \* 

Alınma: 27.02.2021; düzeltme: 11.08.2021; kabul: 22.09.2021

**Öz:** Erimiş yığıma modellemesi (FDM), makul bir süre içinde karmaşık şekillere sahip işlevsel parçalar oluşturma yeteneği nedeniyle hızla büyüyen bir hızlı prototipleme teknolojisidir. FDM yöntemiyle üretim yapan 3 boyutlu yazıcılarla üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve geliştirilmesi, bu imalat yönteminin kullanımının yaygınlaşması açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3B yazıcı ile ABS ve PLA malzeme kullanılarak farklı renklerde ve farklı dolgu desenlerinde çekme test numuneleri üretilmiştir. Filament renginin ve dolgu deseninin mekanik özellikler üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak, kullanılan filament renginin, 3 boyutlu yazıcı ile üretilen çekme numunelerinin mekanik özellikleri üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Kullanılan dolgu desenleri arasında en yüksek çekme mukavemeti değerlerinin "Concentric" dolgu deseniyle üretilen numunelerde olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eklemeli İmalat, Erimiş Yığıma Modellemesi, 3B Yazıcı, Çekme Testi, Sertlik, Dolgu Deseni

#### Investigation of The Mechanical Properties of Tensile Test Samples Produced in Different Colors and Different Infill Patterns with A 3D Printer

**Abstract:** Fused deposition modeling (FDM) is a rapidly growing rapid prototyping technology due to its ability to create functional parts with complex shapes in a reasonable time. Determining and improving the mechanical properties of the products produced by 3D printers using the FDM method is of great importance for the widespread use of this manufacturing method. In this study; tensile test specimens have been produced in different colors and different infill patterns using ABS and PLA materials with the Ultimaker 2 Extended 3D printer. The effects of filament color and infill pattern on mechanical properties have been investigated experimentally. As a result, it has been determined that the filament color used has no significant effect on the mechanical properties of the tensile samples produced by 3D printer. Among the infill patterns used, it has been determined that the highest tensile strength values are in the samples produced with the "Concentric" infill pattern.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Fused Deposition Modeling, 3D Printer, Tensile Test, Hardness, Infill Pattern

\* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş 46040, TÜRKİYE

\*\* İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya 44280, TÜRKİYE

\*\*\* Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elektronik Teknolojisi Bölümü, Kahramanmaraş 46036, TÜRKİYE

İletişim Yazarı: Muhammed Safa KAMER (msafakamer@ksu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

3B baskı teknolojisi; tasarım kısıtlamalarını azaltan, üretim atıklarını en aza indiren ve karmaşık tasarımların hızla prototipini oluşturan yetenekleriyle günümüzde giderek daha önemli hale gelmiştir. Mühendislik ve tıp gibi alanlar için işlevsel parçalar tasarlamak ve üretmek bu teknolojinin ana hedefidir (Ngo ve diğ., 2018; Popescu ve diğ., 2018). Bu alandaki birçok yaklaşım, katmanlı imalat için tasarım alanında da yenilikçi uygulamalar sunmaktadır. Örneğin Eriyik Yığılma Modellemesi (FDM) teknolojisi ile üretim, ucuz makine ve malzeme gibi avantajlara sahiptir. Öte yandan, FDM sınırlı mekanik özelliklere sahiptir. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için, 3B baskı yöntemlerinde yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Graziosi ve diğ., 2020). FDM yöntemiyle üretim yapan 3 boyutlu yazıcılarla üretilen ürünlerin çeşitli özelliklerinin belirlenmesi ve bu yöntemin geliştirilmesi amacıyla birçok çalışma yapılmış olup, bunların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Sood ve diğ. (2010), 3 boyutlu yazıcı ile üretimde kullanılan; katman kalınlığı, tarama açısı, tarama genişliği, yönlendirme ve hava boşluğu parametrelerinin, test numunelerinin çekme eğilme ve darbe dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaları azaltmak için tepki ve süreç parametreleri ile ilgili modeller geliştirmişlerdir. Modellerin geçerliliğini varyans analizi kullanarak test etmişlerdir.

Zhang ve To (2016), camı polimerlerin elastik olmayan deformasyonunu ve böyle bir etkiye sahip kırılmayı tahmin etmek amacıyla bir malzeme modeli geliştirmişlerdir. Bu amaca ulaşmak için uzama oranı, basınç, sıcaklık ve yazdırma yönünün etkilerini dikkate alan enine izotropik hiperelastik-viskoplastik bir model önermişlerdir. Ayrıca, değiştirilmiş bir Tsai-Wu kırılma kriterini, camı polimerlerin gerinim yumuşatma ile makroskopik kırılmasını tahmin etmek için önermişlerdir. Yaptıkları deneyler ve simülasyonlar sonucunda, eklemeli olarak üretilen kafes yapıların mekanik davranışının sadece kafes oryantasyonuna değil, aynı zamanda baskı yönüne de bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Chacon ve diğ. (2017), baskı yönü, katman kalınlığı ve ilerleme hızının, 3 boyutlu yazıcı ile PLA malzeme kullanılarak üretilen test numuneleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ürettikleri test numuneleri üzerindeki etkileri belirlemek için çekme ve 3 noktalı eğilme testleri yapmışlardır. Katman-katman yazdırma süreci nedeniyle 3 boyutlu yazdırılan test numuneleri anizotropik davranış sergilediğinden, dikey yönlendirme ile üretilen numunelerin en düşük mekanik özelliklere sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca 3 boyutlu yazdırmada katman kalınlığı ve ilerleme hızının artmasıyla, sünekliğin azaldığını tespit etmişlerdir.

Ning ve diğ. (2017), erimiş yığılma modellemesi (FDM) yöntemiyle üretilen karbon fiber takviyeli plastik kompozitlerin (CFRP) çekme dayanımı üzerine tarama açısı, doldurma hızı, nozul sıcaklığı ve katman kalınlığının etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çekme testlerinde kopan CFRP kompozit malzemelerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntülerini incelemişlerdir. Yazdırma hızının artmasıyla çekme dayanımının azaldığını belirlemişlerdir.

Solmaz ve Çelik (2018), 3 boyutlu yazıcı kullanarak ürettikleri bal peteği sandviç kompozitlerin basma yükü altındaki davranışlarını araştırmışlardır. 3 farklı hücre boyutuna ve 3 farklı hücre yüksekliğine sahip bal peteği hücrelerin üretilmesinde ABS ve PLA filament kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda PLA malzemenin ABS malzemeye göre daha üstün özelliklere sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Uzun ve diğ. (2018), 3 boyutlu FDM yazıcı kullanarak yeni tip eğrisel evolvent profilli dişli üretmişler ve üretilen dişliler üzerinde geometrik ölçümler yaparak bu üretim yönteminin doğruluk değerlerini belirlemişlerdir. 3 boyutlu yazıcı ile ürettikleri dişlinin diş profilinde yaptıkları ölçümlerde diş dibine yakın bölgelerde küçük bir pozitif sapma görülürken, dişin üst kısmına yakın bölgelerde negatif sapma tespit etmişlerdir.

Kumar ve diğ. (2019) iki farklı polimerin (ABS ve PA6) gerekli boyutta sürtünmeli karıştırma kaynağı (FSW) ile birleştirilmesini engelleyen sorunları çözmek amacıyla polimer malzemelere, FSW sırasında daha iyi karışım sağlayan Al metal tozu takviyesi uygulamışlardır.

ABS-15A1 ve PA6-50A1 örneklerini hazırlamak için ikiz vidalı ekstrüzyon (TSE) ve erimiş biriktirme modellemesi (FDM) kullanmışlardır. En iyi proses parametreleri setini seçmek için çok faktörlü optimizasyon gerçekleştirmişlerdir. Yapılan güçlendirmenin, malzemenin FSW uygulaması için kullanılan birbiriyle termal olarak uyumlu olmasına neden olduğunu belirlemişlerdir.

Sezer ve diğ. (2019), eriyik biriktirme yöntemi (FDM) ile üretilen ürünlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla 6 mm uzunluğunda karbon elyaf takviyeli akrilonitril-butadienstiren (ABS) kompozit filament üretmişlerdir. Ürettikleri filament ile 3B yazıcıda çekme test numuneleri üretmişler ve karbon elyaf takviyesinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerin mekanik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. 6 mm uzunluğunda karbon elyaf takviyesi ile parça mukavemetinin önemli ölçüde iyileştirilmesine karşın; esneklik ve işlenebilirliğin artan takviye içeriği ile azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yazdırma deseninin mekanik özellikleri önemli derecede etkilendiğini saptamışlardır.

Yaman (2019), eriyik yığıma modelleme ile üretim yapan 3B yazıcılarda üretilecek ürünlere topoloji optimizasyonu yaparak, ürünlerin doğrudan üretilebilmeleri için makine komutları üreten bir yöntem geliştirmiştir. Geliştirdiği yöntemde öncelikli olarak verilen parçanın tanımlanan koşullara göre topoloji optimizasyonu yapılmakta ve sonrasında parçanın içyapısı kabuklardan oluşacak şekilde üretim komutları oluşturulmaktadır. Yöntemin geçerliliğini ortaya koymak için farklı yaklaşımlarla üretilmiş olan yalın, dayanıklı kirişleri belirli yükler altında test etmiştir. Sonuç olarak, önerdiği yöntemle üretilen kirişlerin ağırlık-mukavemet oranlarının diğerlerine göre oldukça iyi olduğunu belirlemiştir.

Tatlı ve Özgül (2020) çalışmalarında, 200x200x210mm yazdırma hacmine sahip 3 boyutlu FDM yazıcı tasarımı ve imalatını yapmışlardır. Ürettikleri 3 boyutlu yazıcı ile PLA malzeme kullanarak 2 farklı iç dolgu desenine (gyroid, ızgara) sahip test numuneleri üretmiş, üretilen numunelere çekme, 3 nokta eğilme ve darbe testleri uygulamışlardır. Testler sonucunda ızgara dolgu deseni ile üretilen numunelerin maksimum çekme dayanımına sahip olduğunu ve gyroid dolgu deseni ile üretilen numunelerin maksimum eğilme dayanımına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu 2 dolgu deseninin Charpy darbe dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır.

Uzun and Erdoğdu (2020), 3B yazıcı ile takviyesiz, %20 bakır takviyeli ve %20 karbon fiber takviyeli PLA kompozitler üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri çekme testi ve üç nokta eğme testine tabi tutarak mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. PLA malzemesine bakır ve karbon fiber takviyelerinin eklenmesinin çekme ve eğilme mukavemetlerini azalttığını belirlemişlerdir.

Ando ve diğ. (2021) FDM teknolojisi ile üretilen farklı renklerde PLA'dan yapılan parçaların, arayüzey yapışma özelliklerini araştırmışlardır. Farklı temas yüzey türleri ile hazırladıkları test numunelerini önce yapıştırmışlar sonra da çekme testi uygulamışlardır. FDM numuneleri yapıştırmada dikey yapışma ve yatay yapışma olarak iki farklı yöntem kullanmışlardır. Dikey yapışmanın her zaman yatay yapışmadan daha zayıf olduğunu tespit etmişlerdir.

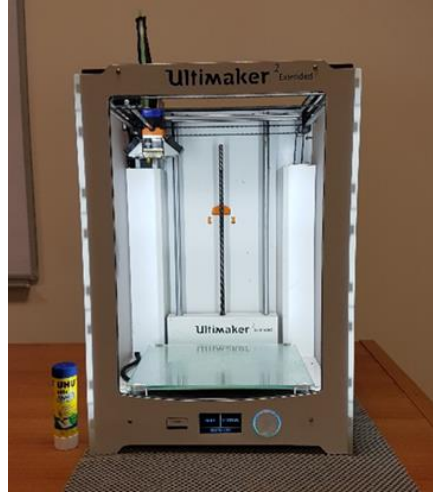
Çakan ve diğ. (2021), öksetik bal peteği yapısının darbe yüklemesi altında farklı yönlerdeki mekanik davranışını incelemişlerdir. Düzlem-içi ile düzlem-dışı yönler için ABS filamentini kullanarak malzeme ekstrüzyonuyla öksetik bal peteği yapısına sahip kutular üretmişler ve düşürme test cihazı ile dinamik testler gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca düzlem-içi ile düzlem-dışı yönler için sonlu elemanlar modelleri oluşturarak analizler gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak deneysel ve sayısal çalışmalar neticesinde, düzlem-dışı yükleme durumunda öksetik bal peteği geometrisinin enerji sönmeme özelliğinin daha üstün olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3B yazıcı ile ABS ve PLA malzeme kullanılarak farklı renklerde ve farklı dolgu desenlerinde çekme test numuneleri üretilmiştir. Filament renginin (ABS beyaz, gümüş, turuncu; PLA inci beyazı, mavi, turuncu, yeşil) ve dolgu deseninin (Lines 0° - Lines 90° Connect - Lines 180° - Concentric - Zig Zag) mekanik özellikler

üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Üretilen numunelerin kütleleri, sertlikleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş, porozite değerleri hesaplanmış ve üretilen numunelere çekme testi yapılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOD

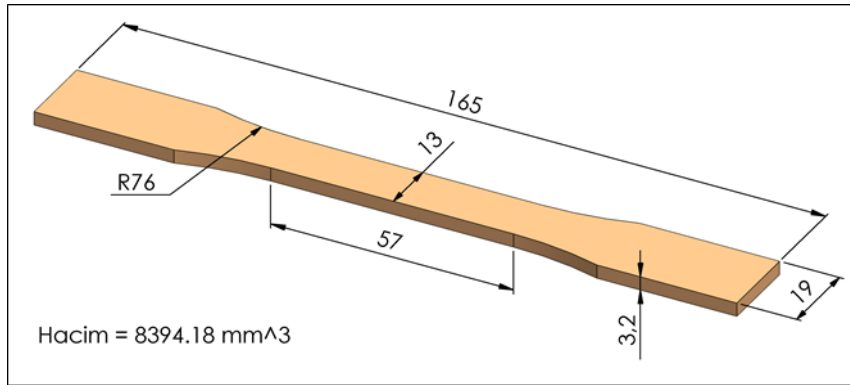
Çalışma kapsamında kullanılan 3 boyutlu yazıcı ve üretilen test numunelerinin mekanik özelliklerini belirlemede Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü ve Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM imkânları kullanılmıştır. Test numunelerinin üretiminde “Ultimaker 2 Extended” (The Ultimaker 2 Extended specifications, n.d.; The Ultimaker 2 Extended user manual, n.d.) 3B yazıcı kullanılmıştır (Şekil 1).



**Şekil 1:**

*Test numunelerinin üretiminde kullanılan Ultimaker 2 Extended 3B yazıcı*

Çekme numunelerinin boyutlandırılmasında ASTM D638-14 standardı (ASTM D638-14, 2014) kullanılmıştır. Bu standart içerisinde Type I (Şekil 2) ölçülerinde 3.2mm kalınlıkta numuneler üretilmiştir. Belirtilen standart ölçülerindeki çekme numunesi 3 boyutlu olarak bilgisayar ortamında SolidWorks CAD yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır.



**Şekil 2:**

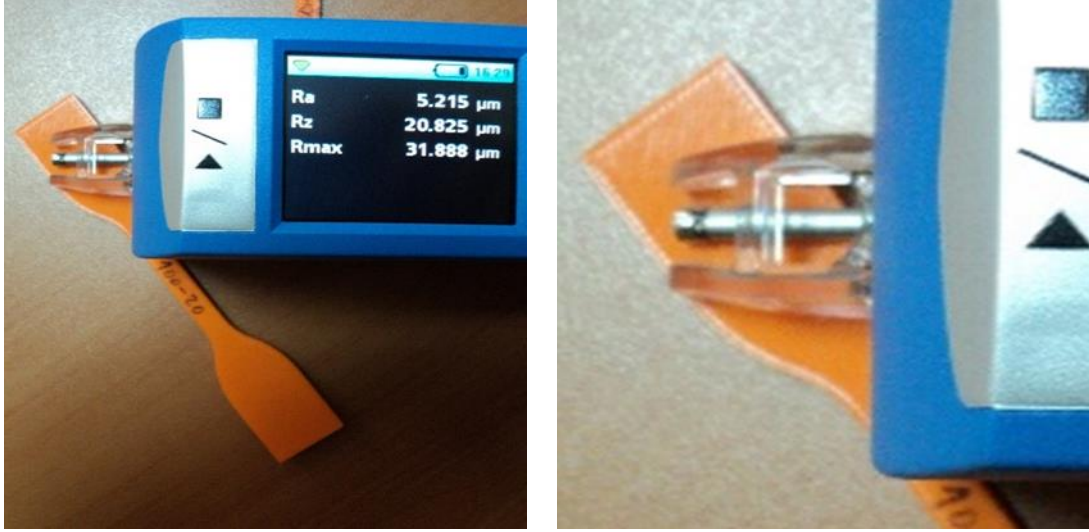
*ASTM D638-14 standardı Tip I (ASTM D638-14, 2014)*

Üretilen çekme numunelerinin kütleleri, sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve numunelere çekme testi yapılmıştır. Kütle ölçümleri KERN PLS 6200-2A (kapasite: 6.200g,

hassasiyet: 0,01g) hassas terazi ile yapılmıştır. Sertlik ölçümleri MITECH MH210 portatif sertlik ölçüm cihazıyla Shore D cinsinden yapılmıştır. Her numunenin üst yüzeyinde ve alt yüzeyinde 5 farklı noktadan sertlik ölçümleri yapılarak ortalama değer hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, JENOPTIK Hommel-Etamic W5 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazıyla Tablo 1’de verilen parametrelerde yapılmıştır. Her numunenin üst yüzeyinden ölçümler alınmıştır. Pürüzlülük cihazı üst yüzeyde yığma yönüne 90° açılı (Şekil 3) olacak şekilde konumlandırılmış olup, 3 farklı noktadan ölçümler yapılarak ortalama değerler belirlenmiştir. Çekme testleri 100kN kapasiteli Zwick/Roell Z100 çekme test cihazıyla, 5mm/dk hızda ve ASTM D638-14 standardı kullanılarak yapılmıştır.

**Tablo 1. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm parametreleri**

Ölçüm uzunluğu (lt)	4,8mm
Ölçüm hızı (vt)	0,5mm/s
Dalga boyu (lc)	0,8mm



**Şekil 3:**

*Yığma yönüne 90° açılı pürüzlülük ölçüm görüntüleri*

3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünler ile ilgili bir diğer parametre ise porozitedir. Porozite, üretilen ürün içerisindeki boşluk hacminin, toplam yazdırma hacmine oranı olarak ifade edilebilir (Denklem 1). 3 boyutlu yazıcı ile üretilen bir ürünün içerisindeki boşluk hacmi; toplam yazdırma hacminden, üretilen ürünün kütlesine karşılık gelen örgü hacmi çıkartılarak hesaplanabilir (Denklem 2). 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünün kütlesine karşılık gelen örgü hacmi ise 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünün kütlesinin, üretimde kullanılan filament malzemesinin yoğunluğuna bölünmesiyle hesaplanabilir (Denklem 3).

$$\phi = \frac{V_b}{V_T} \cdot 100 \quad (1)$$

$$V_b = V_T - V_p \quad (2)$$

$$m = \rho \cdot V_p \Rightarrow V_p = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

Burada;

- $\phi$  : poroziteyi,  
 $V_b$  : 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünün içerisindeki boşluk hacmini,  
 $V_T$  : toplam yazdırma hacmini,  
 $V_p$  : 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünün kütlesine karşılık gelen örgü hacmini,  
 $m$  : 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünün kütlesini,  
 $\rho$  : üretimde kullanılan filament malzemesinin yoğunluğunu ifade etmektedir.

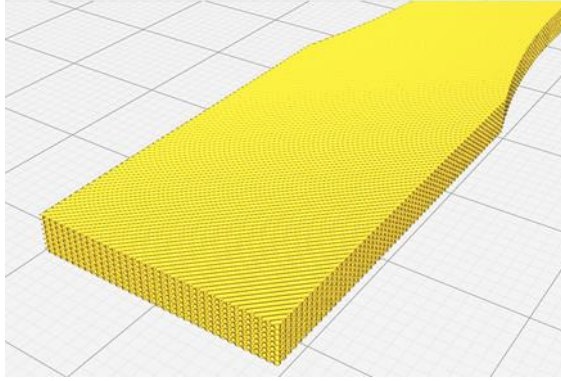
Farklı renk çalışmalarında kullanılan filament (ABS filament ve PLA filament) ve filament renkleri değiştirilerek ABS malzemede 3 farklı renk (Beyaz, Gümüş, Turuncu), PLA malzemede 4 farklı renk (İnci Beyazı, Mavi Turuncu, Yeşil) kullanılarak çekme numuneleri üretilmiştir. Her farklı renk için dörder adet olacak şekilde, 12 adet ABS ve 16 adet PLA malzeme ile toplam 28 adet test numunesi üretilmiştir. 3 boyutlu yazıcıda farklı renklerde ABS ve PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Farklı dolgu deseni çalışmalarında 5 farklı dolgu deseni (Lines 0° - Lines 90° Connect - Lines 180° - Concentric - Zig Zag) kullanılarak her parametre için dörder adet olacak şekilde, 20 adet ABS ve 20 adet PLA malzeme ile toplam 40 adet test numunesi üretilmiştir. 3 boyutlu yazıcıda aynı parametrelerde ABS ve PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

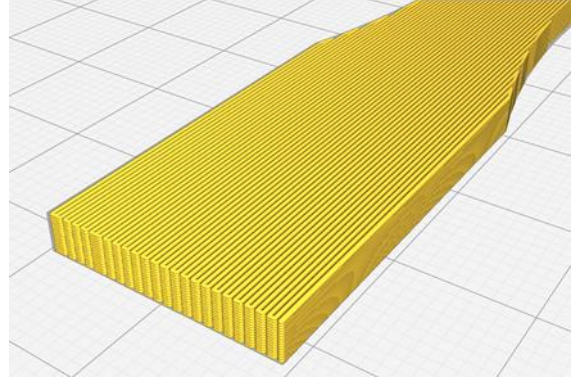
SolidWorks CAD yazılımı ile 3 boyutlu olarak tasarımı yapılan çekme numunesinin G-kodlarının oluşturulmasında Ultimaker markasının kendi yazılımı olan Cura CAM yazılımı kullanılmıştır. Tasarımın yazıcı tablası üzerindeki konumu, açısı vb. ayarlar yapıldıktan sonra Tablo 2’de belirtilen parametreler seçilerek tasarımın G-kodları oluşturulmuştur. G-kodlarının oluşturulmasında belirtilen parametrelerden sadece dolgu deseni değiştirilerek farklı G-kodları oluşturulmuştur. Farklı renk çalışmalarında *Lines 0°* dolgu deseni, farklı dolgu deseni çalışmalarında ise *Lines 0° - Lines 90° Connect - Lines 180° - Concentric - Zig Zag* dolgu desenleri kullanılmıştır. Cura CAM programında seçilen dolgu deseni görüntüleri Şekil 4’de gösterilmiştir. Oluşturulan G-kodları SD kart yardımıyla 3 boyutlu yazıcıya aktarılmıştır.

**Tablo 2. Cura CAM yazılımında seçilen parametreler**

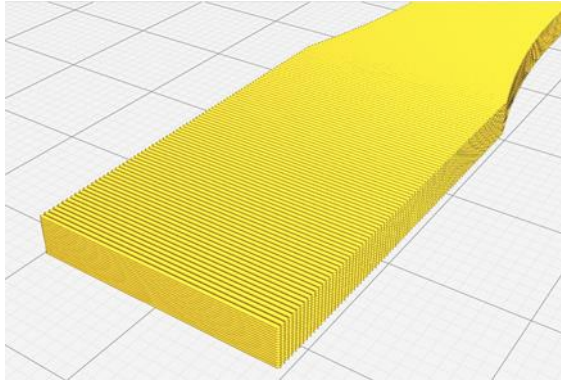
Yazıcı	Ultimaker 2 Extended with Olsson Block
Malzeme	Ultimaker ABS veya Ultimaker PLA
Nozul çapı	0,4mm
Katman kalınlığı	0,2mm
Duvar kalınlığı	0 mm
Üst/Alt kalınlığı	0 mm
Dolgu yoğunluğu	%100
Dolgu deseni	Lines 0° - Lines 90° Connect - Lines 180° - Concentric - Zig Zag
Yazdırma hızı	60 mm/s
Boşta gezme hızı	120mm/s



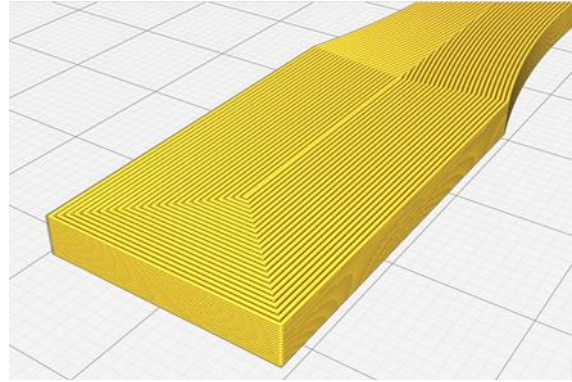
a) Lines 0° dolgu deseni görüntüleri



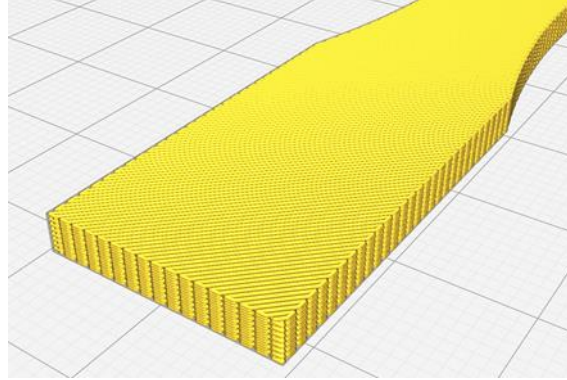
b) Lines 90° Connect dolgu deseni görüntüleri



c) Lines 180° dolgu deseni görüntüleri



d) Concentric dolgu deseni görüntüleri



e) Zig Zag dolgu deseni görüntüleri

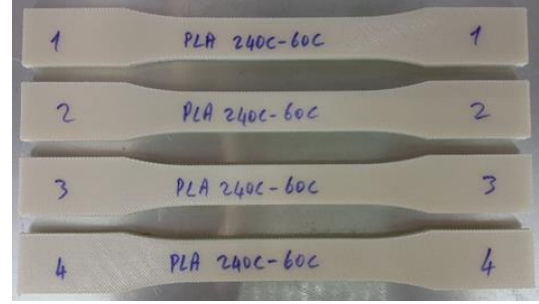
**Şekil 4:**  
*Cura CAM programında seçilen dolgu deseni görüntüleri*

Çekme test numunelerinin üretiminde öncelikle Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcıda yazdırma tablasının manuel olarak kalibrasyonu yapılmıştır. 3 boyutlu yazıcıya Ultimaker marka ABS malzeme (Ultimaker ABS SDS, 2017; Ultimaker ABS TDS, 2018) veya Ultimaker marka PLA malzeme (Ultimaker PLA TDS, 2018; Ultimaker PLA SDS, 2019) takılmıştır. 3 boyutlu yazıcının yazdırma tabla sıcaklığı ABS malzeme için 80°C'ye (Ultimaker ABS malzeme ürün etiketinde belirtilen değere), PLA malzeme için de 60°C'ye (Ultimaker PLA malzeme ürün etiketinde belirtilen değere) ayarlanmıştır. 3 boyutlu yazıcının nozul sıcaklığı ise ABS malzeme için 260°C'ye (225-260°C Ultimaker ABS malzeme ürün etiketinde belirtilen sıcaklık aralığı), PLA malzeme için de 240°C'ye (195-240°C Ultimaker PLA malzeme ürün

etiketinde belirtilen sıcaklık aralığı) ayarlanmıştır. Üretim işlemini başlatmadan önce, üretim sırasında numunenin ilk katmanının cam yazdırma tablasına daha iyi yapışmasını sağlamak için yazdırma tablası üzerine ince bir film tabakası kalınlığında stick yapıştırıcı (Uhu Stic Magic Blue) sürülmüştür. Farklı renk ve farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen numunelerin görüntüleri Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.



a) ABS Beyaz malzeme



a) PLA İnci Beyazı malzeme



b) ABS Gümüş malzeme



b) PLA Mavi malzeme



c) ABS Turuncu malzeme



c) PLA Turuncu malzeme

**Şekil 5:**

3 boyutlu yazıcı ile farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen test numuneleri

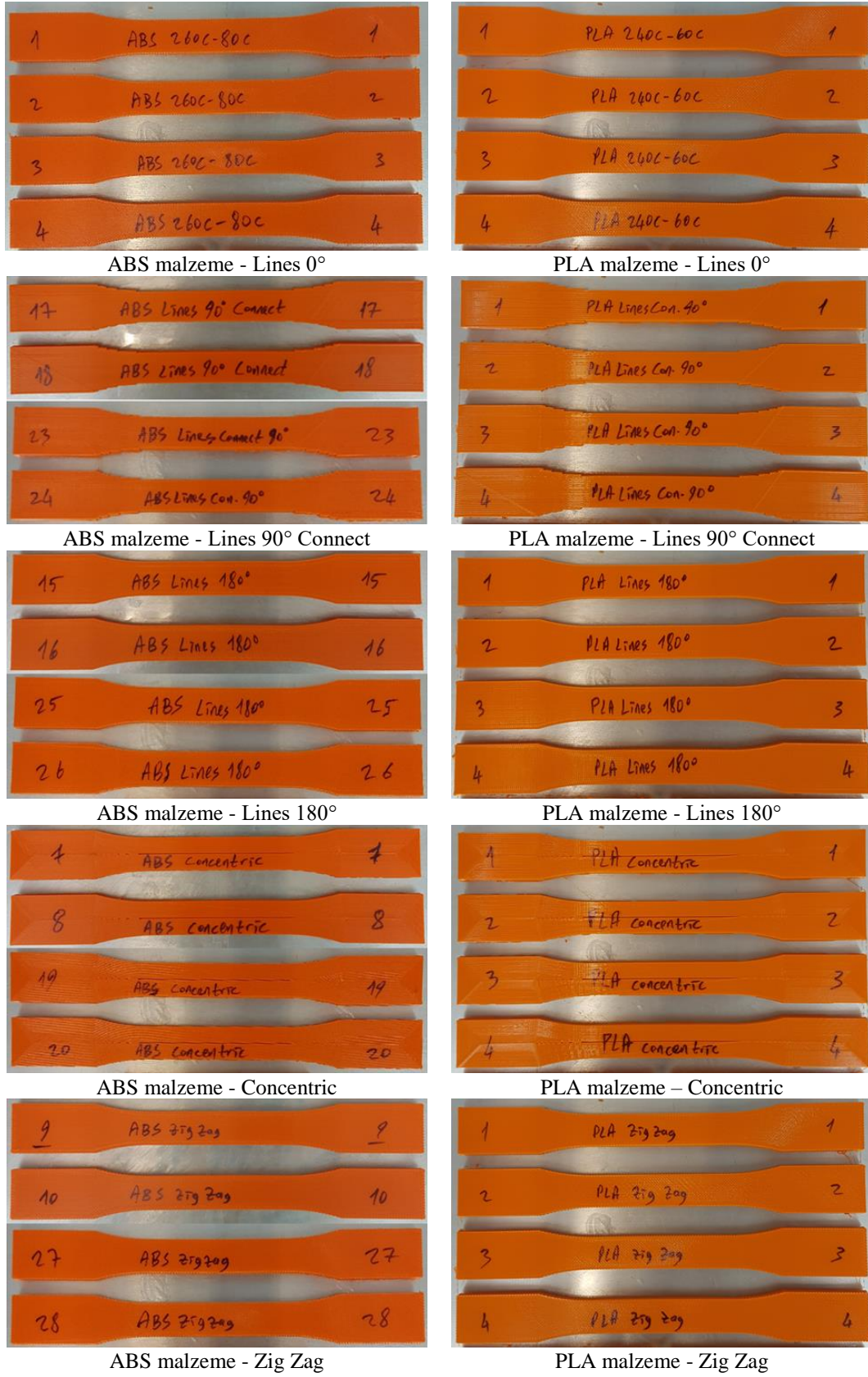


d) PLA Yeşil malzeme

**Şekil 6:**

3 boyutlu yazıcı ile farklı renklerde PLA malzeme kullanılarak üretilen test numuneleri





Şekil 7:

3B yazıcıda farklı dolgu desenleri ile ABS ve PLA malzeme kullanılarak üretilen test numuneleri

### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3 boyutu yazıcı ile ABS ve PLA malzeme kullanılarak farklı renklerde ve farklı dolgu desenlerinde çekme test numuneleri üretilmiştir. Filament renginin ve dolgu deseninin mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

#### 3.1. Farklı Renk Filamentlerle Üretilen Numunelerin Mekanik Özellikleri

Farklı renklerde ABS ve PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin kütle değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde Cura CAM programından alınan filament boyu verilerinin tüm numuneler için aynı olduğu görülmektedir. Bu da programda hesaplanan yazdırma için gerekli olan malzeme miktarının her malzeme için tüm renklerde aynı olması gerektiği anlamına gelmektedir.

Cura programında belirtilen 1,36m’lik filamentin, ABS malzeme yoğunluğu (1,10 g/cm<sup>3</sup>) (Ultimaker ABS SDS, 2017; Ultimaker ABS TDS, 2018) kullanılarak teorik kütlesi 9,54g olarak hesaplanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde farklı renklerde ABS filamentler kullanılarak üretilen numunelerin ve buna bağlı olarak kullanılan filamentin kütlelerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Cura programında belirtilen 1,36m’lik filamentin, PLA malzeme yoğunluğu (1,24 g/cm<sup>3</sup>) (Ultimaker PLA TDS, 2018; Ultimaker PLA SDS, 2019) kullanılarak teorik kütlesi 10,76g olarak hesaplanmıştır. Tablo 3 incelendiğinde farklı renklerde PLA filamentler kullanılarak üretilen numunelerin ve buna bağlı olarak kullanılan filamentin kütlelerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Tablo 3’de görülen küçük kütle farklılıklarının numuneler üzerindeki yapıştırıcı kalıntıları, üretim sırasındaki buharlaşma miktarı gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde 200°C ve üzerindeki sıcaklıklarda ABS ve PLA malzemelerde bir miktar kütle kaybının yaşandığı sonucuna literatürde rastlanmıştır (Wojtyła ve diğ., 2017; Lay ve diğ., 2019).

**Tablo 3. Farklı renklerde filament kullanılarak üretilen test numunelerinin kütle değerleri**

Filament Türü	Cura’dan alınan değerler		Ölçülen değerler
	Yazdırma süresi (dk)	Filament boyu (m)	Ortalama kütle (g)
ABS Beyaz	34	1,36	9,61
ABS Gümüş	34	1,36	9,05
ABS Turuncu	34	1,36	9,27
PLA İnci Beyazı	34	1,36	9,93
PLA Mavi	34	1,36	10,01
PLA Turuncu	34	1,36	9,54
PLA Yeşil	34	1,36	9,85

Denklem 1 kullanılarak her iki malzeme ile farklı renk filamentlerle üretilen ürünlerin porozite değerleri hesaplanmış olup, Tablo 4’de verilmiştir. Üretilen test numunelerinin toplam yazdırma hacmi, tüm test numunelerinin ayrı ayrı dijital kumpasla (çözünürlük 0.01mm) ölçülmesiyle hesaplanmış olup, her parametre için ortalama değerler Tablo 4’de verilmiştir. 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünlerde homojen olmayan ortam sıcaklığı, tabla sıcaklığı, nozul sıcaklığı vb. nedenlerle bir miktar boyutsal değişiklikler görülmekte olup, bu boyutsal düzensizliklerin azaltılması için literatürde çeşitli çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir (Yaman, 2018; Dilberoğlu ve diğ., 2019). Üretimde kullanılan Ultimaker ABS ve PLA filament malzemelerinin yoğunlukları da Ultimaker markasının ABS ve PLA filament kataloglarından alınmıştır (Ultimaker ABS SDS, 2017; Ultimaker ABS TDS, 2018; Ultimaker PLA TDS, 2018; Ultimaker PLA SDS, 2019). Yazdırma sırasında ABS ve PLA malzemelerde yoğunluk değişiminin olmadığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 4 incelendiğinde, Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcı ile farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen ürünlerin porozite değerlerinin neredeyse değişmediği görülmektedir. Tablo 4 incelendiğinde, 3 boyutlu yazıcı ile farklı renklerde PLA malzeme kullanılarak üretilen ürünlerin porozite

değerlerinde de kayda değer bir farklılık olmadığı görülmektedir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünler kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak 2 kat daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak; PLA filament, ABS filamente göre daha sert ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğundan, yazdırma hızının artmasıyla filament besleme motorunun PLA malzemede bir miktar kaydırma (patinaj) yaptığı söylenebilir. Tablolarda görülen bazı değerlerin düzensiz olmasının, test numunelerindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir.

**Tablo 4. Farklı renklerde filamentler ile üretilen numunelerin hacim ve porozite değerleri**

Filament Türü	Kütle $m$ (g)	Yoğunluk $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Örgü Hacmi $V_p$ (mm <sup>3</sup> )	Toplam Yazdırma Hacmi $V_T$ (mm <sup>3</sup> )	Boşluk Hacmi $V_b$ (mm <sup>3</sup> )	Porozite $\phi$ (%)
ABS Beyaz	9,61	1,10	8734,09	9233,31	499,22	5,41
ABS Gümüş	9,05	1,10	8227,27	8804,39	577,12	6,55
ABS Turuncu	9,27	1,10	8422,73	8708,10	285,37	3,28
PLA İnci Beyazı	9,93	1,24	8006,05	8826,07	820,02	9,29
PLA Mavi	10,01	1,24	8072,58	8886,46	813,88	9,16
PLA Turuncu	9,54	1,24	7689,52	8922,49	1232,97	13,82
PLA Yeşil	9,85	1,24	7943,55	8880,39	936,84	10,55

Test numunelerinin Shore D sertlik değerleri Tablo 5’de verilmiştir. Her numunenin alt ve üst yüzeylerinin sertlikleri ölçülmüştür. Tablo 5 incelendiğinde, farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen numunelerin üst yüzeylerindeki sertlik değerlerinin neredeyse değişmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin üst yüzeylerindeki sertlik değerlerinde de çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünler kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin üst yüzeylerdeki sertlik değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bir önceki paragrafta da belirtildiği gibi, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin içerisindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir. Aynı şekilde PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerleri de düşük olduğundan, sertlik ölçümü sırasında bu boşluklar verilere düşük sertlik değerleri olarak yansımaktadır. Ayrıca yine Tablo 5 incelendiğinde numunelerin alt yüzey sertliklerinin genel olarak üst yüzey sertliklerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Numunelerin alt yüzeyleri cam yazdırma tablasına temas halinde olup, üretim sonrasında numunelerin alt yüzeylerinde bir miktar yapıştırıcı kalıntısı kalmaktadır. Numunenin ilk katmanının cam yazdırma tablasına daha iyi yapışmasını sağlamak için yazdırma tablası üzerine ince bir film tabakası kalınlığında sürülen yapıştırıcının, numunelerin alt yüzeylerindeki sertliğin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Tabloda görülen bazı değerlerin düzensiz olmasının, test numunelerindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir.

**Tablo 5. Farklı renklerde filamentler ile üretilen test numunelerinin sertlik değerleri**

Filament Türü	Shore D Sertlik Değerleri	
	Üst Yüzey Ort.	Alt Yüzey Ort.
ABS Beyaz	62,78	64,73
ABS Gümüş	56,40	69,43
ABS Turuncu	57,33	76,25
PLA İnci Beyazı	52,48	78,60
PLA Mavi	55,40	78,63
PLA Turuncu	51,55	70,60
PLA Yeşil	52,83	76,98

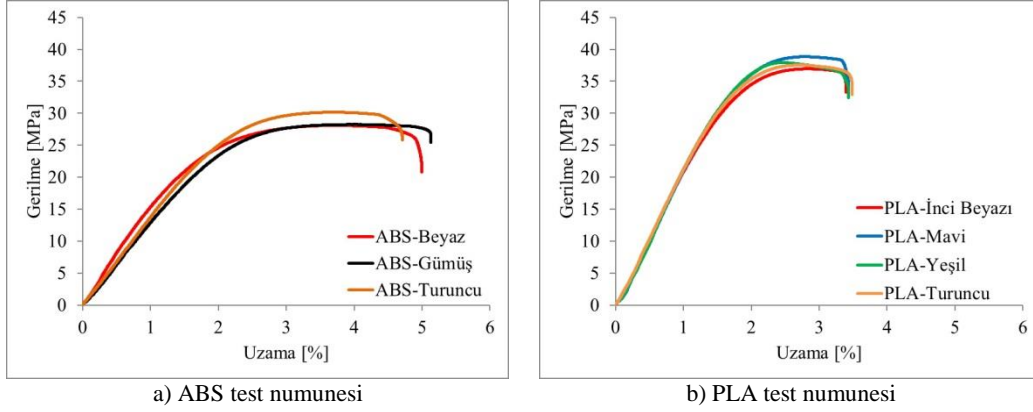
Test numunelerinin üst yüzeylerinin aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen numunelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin neredeyse değişmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinde de çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünler kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerleri daha yüksek olduğundan, pürüzlülük ölçümü sırasında ürünlerin içerisindeki boşluklar verilere pürüzlülük artışı olarak yansımıştır. 3 boyutlu yazıcı ile üretilen ürünlerde katman yüksekliğine bağlı olarak katmanlar arasında hava boşluklarının oluştuğu, bu hava boşluklarının genel olarak ürünün porozitesi olarak ifade edildiği ve hava boşluklarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün de arttığını gösteren benzer çalışmalar literatürde yer almaktadır (Ayrılmış, 2018; Liao ve diğ., 2019; Noori, 2019; Al-Maharma ve diğ., 2020). Tabloda görülen bazı değerlerin düzensiz olmasının, test numunelerindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Test numunelerinin çekme mukavemet değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen numunelerin çekme mukavemet değerlerinin neredeyse değişmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde farklı renklerde PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin çekme mukavemet değerlerinde de çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

**Tablo 6. Farklı renklerde filament kullanılarak üretilen test numunelerinin pürüzlülük ve çekme mukavemeti değerleri**

Filament Türü	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük Ra ( $\mu\text{m}$ )	Çekme Mukavemeti (MPa)
ABS Beyaz	5,47	28,098
ABS Gümüş	5,68	28,246
ABS Turuncu	6,00	30,153
PLA İnci Beyazı	8,31	36,950
PLA Mavi	7,50	38,849
PLA Turuncu	8,59	37,534
PLA Yeşil	9,16	37,920

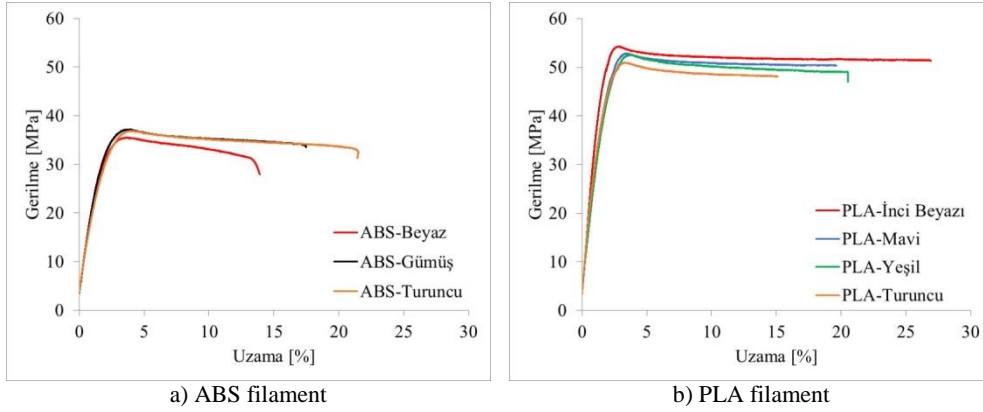
Şekil 8'de her iki malzeme ile farklı renk filamentler kullanılarak üretilen numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Şekil 8a incelendiğinde, farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin birbiriyle çakışık olduğu söylenebilir. Benzer şekilde Şekil 8b incelendiğinde, farklı renklerde PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin de birbiriyle çakışık olduğu görülmektedir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünlerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin çekme mukavemeti değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak %20 daha yüksek olduğu, ABS malzeme ile üretilen ürünlerin kopma uzaması değerlerinin de PLA malzeme ile üretilen ürünlerden %30 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 8:**

*Farklı renklerde filamentlerle üretilen çekme test numunelerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri*

Her iki malzeme ile üretilen numunelerin yazdırılmasında kullanılan farklı renklerdeki Ultimaker ABS 2,85mm ve Ultimaker PLA 2,85mm filamentlere çekme testi uygulanmış olup, bu filamentlerin çekme testlerine ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde, farklı renklerdeki ABS filamentlerin gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin kendi aralarında, farklı renklerdeki PLA filamentlerin gerilme-şekil değiştirme grafiklerinin de kendi aralarında birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. ABS ve PLA filamentlerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri kıyaslandığında, PLA filamentlerin çekme mukavemeti değerlerinin ABS filamentlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde, yazdırma işleminde kullanılan Ultimaker ABS 2,85mm ve Ultimaker PLA 2,85mm filament malzemelerinin yazdırma işlemi sonucunda çekme dayanımında çok fazla değişiklik olmazken, kopma uzaması bir hayli azalmıştır.



**Şekil 9:**

*Farklı renklerde Ultimaker 2,85mm filamentin gerilme-şekil değiştirme eğrileri*

### 3.2. Farklı Dolgu Desenleri ile Üretilen Numunelerin Mekanik Özellikleri

Farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS ve PLA malzemelerle üretilen numunelerin kütle değerleri Tablo 7’de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde Cura CAM programından alınan filament boyu verilerinin tüm numuneler için aynı olduğu görülmektedir. Bu da programda hesaplanan yazdırma için gerekli olan malzeme miktarının her malzeme için tüm dolgu desenlerinde aynı olması gerektiği anlamına gelmektedir.

Cura programında belirtilen 1,36m'lik ABS filamentin teorik kütlesi önceki bölümde 9,54g olarak hesaplanmıştır. Tablo 7 incelendiğinde farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS filamentlerle üretilen numunelerin ve buna bağlı olarak kullanılan filamentin kütlesinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Cura programında belirtilen 1,36m'lik PLA filamentin teorik kütlesi önceki bölümde 10,76g olarak hesaplanmıştır. Tablo 7 incelendiğinde farklı dolgu desenleri kullanılarak PLA filamentlerle üretilen numunelerin ve buna bağlı olarak kullanılan filamentin kütlesinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Tablo 7'de görülen küçük kütle farklılıklarının numuneler üzerindeki yapıstırıcı kalıntıları, üretim sırasındaki buharlaşma miktarı gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

**Tablo 7. Farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen test numunelerinin kütle değerleri**

Dolgu deseni	Cura'dan alınan değerler		Ortalama kütle (g)	
	Yazdırma süresi (dk)	Filament boyu (m)	ABS Malzeme	PLA Malzeme
Lines 0°	34	1,36	9,27	9,54
Lines 90° Connect	32	1,36	9,25	9,76
Lines 180°	35	1,36	9,36	9,81
Concentric	33	1,36	9,26	9,60
Zig Zag	33	1,36	9,33	9,81

Denklem 1 yardımıyla her iki malzeme ile farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen ürünlerin porozite değerleri hesaplanmış olup, Tablo 8'de verilmiştir. Üretilen test numunelerinin toplam yazdırma hacmi, tüm test numunelerinin ayrı ayrı dijital kumpasla (çözünürlük 0,01mm) ölçülmesiyle hesaplanmış olup, her parametre için ortalama değerler Tablo 8'de verilmiştir. Ayrıca üretimde kullanılan Ultimaker ABS ve PLA filament malzemelerinin yoğunlukları da Ultimaker markasının ABS ve PLA filament kataloglarından alınmıştır (Ultimaker ABS SDS, 2017; Ultimaker ABS TDS, 2018; Ultimaker PLA TDS, 2018; Ultimaker PLA SDS, 2019). Yazdırma sırasında ABS ve PLA malzemelerde yoğunluk değişiminin olmadığı varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 8 incelendiğinde, Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcı ile farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS filamentlerle üretilen ürünlerin porozite değerlerinin neredeyse değişmediği görülmektedir. Tablo 8 incelendiğinde, 3 boyutlu yazıcı ile farklı dolgu desenleri kullanılarak PLA filamentlerle üretilen ürünlerin porozite değerlerinde de kayda değer bir farklılık olmadığı görülmektedir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünler kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak; PLA filament, ABS filamente göre daha sert ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olduğundan, yazdırma hızının artmasıyla filament besleme motorunun PLA malzemede bir miktar kaydırma (patinaj) yaptığı söylenebilir. Tablolarda görülen bazı değerlerin düzensiz olmasının, test numunelerindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir.

**Tablo 8. Farklı dolgu desenleri ile üretilen test numunelerinin hacim ve porozite değerleri**

Filament türü	Dolgu deseni	Kütle $m$ (g)	Yoğunluk $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Örgü Hacmi $V_p$ (mm <sup>3</sup> )	Toplam Yazdırma Hacmi $V_T$ (mm <sup>3</sup> )	Boşluk Hacmi $V_b$ (mm <sup>3</sup> )	Porozite $\phi$ (%)
ABS	Lines 0°	9,27	1,10	8422,73	8708,10	285,37	3,28
ABS	Lines 90° Connect	9,25	1,10	8411,36	8785,02	373,66	4,25
ABS	Lines 180°	9,36	1,10	8506,82	8944,08	437,26	4,89
ABS	Concentric	9,26	1,10	8420,45	8793,84	373,39	4,25
ABS	Zig Zag	9,33	1,10	8479,55	8776,19	296,64	3,38
PLA	Lines 0°	9,54	1,24	7689,52	8922,49	1232,97	13,82
PLA	Lines 90° Connect	9,76	1,24	7870,97	8827,45	956,48	10,84
PLA	Lines 180°	9,81	1,24	7913,31	9080,23	1166,92	12,85
PLA	Concentric	9,60	1,24	7737,90	8340,85	602,95	7,23
PLA	Zig Zag	9,81	1,24	7913,31	8574,67	661,36	7,71

Test numunelerinin Shore D sertlik değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Her numunenin alt ve üst yüzeylerinin sertlikleri ölçülmüştür. Tablo 9 incelendiğinde, farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS filamentlerle üretilen numunelerin üst yüzeylerdeki sertlik değerlerinin neredeyse değişmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde PLA malzeme kullanılarak üretilen numunelerin üst yüzeylerdeki sertlik değerlerinde de çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünler kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin üst yüzeylerdeki sertlik değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden bir miktar daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bir önceki paragrafta da belirtildiği gibi, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin içerisindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir. Aynı şekilde PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerleri de düşük olduğundan, sertlik ölçümü sırasında bu boşluklar verilere düşük sertlik değerleri olarak yansımaktadır. Ayrıca yine Tablo 9 incelendiğinde numunelerin alt yüzey sertliklerinin genel olarak üst yüzey sertliklerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Numunelerin alt yüzeyleri cam yazdırma tablasına temas halinde olup, üretim sonrasında numunelerin alt yüzeylerinde bir miktar yapıştırıcı kalıntısı kalmaktadır. Numunenin ilk katmanının cam yazdırma tablasına daha iyi yapışmasını sağlamak için yazdırma tablası üzerine ince bir film tabakası kalınlığında sürülen yapıştırıcının, numunelerin alt yüzeylerindeki sertliğin artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Tabloda görülen bazı değerlerin düzensiz olmasının, test numunelerindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir.

**Tablo 9. Farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen test numunelerinin sertlik değerleri**

Dolgu deseni	Shore D Sertlik Değerleri			
	ABS Malzeme		PLA Malzeme	
	Üst Yüzey Ort.	Alt Yüzey Ort.	Üst Yüzey Ort.	Alt Yüzey Ort.
Lines 0°	57,33	76,25	51,55	70,60
Lines 90° Connect	60,70	68,15	56,13	74,18
Lines 180°	56,40	71,85	51,15	82,65
Concentric	60,05	66,40	54,93	72,75
Zig Zag	62,35	73,18	56,05	82,08

Test numunelerinin üst yüzeylerinin aritmetik ortalama pürüzlülük değerleri Tablo 10’da verilmiştir. Farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS filament ile üretilen numunelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin neredeyse değişmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde farklı dolgu desenleri kullanılarak PLA malzeme ile üretilen numunelerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinde de çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünler kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerleri daha yüksek olduğundan, pürüzlülük ölçümü sırasında ürünlerin içerisindeki boşluklar verilere pürüzlülük artışı olarak yansımıştır. Elde edilen sonuçlar literatürle kıyaslandığında; katmanlar arası boşlukların artmasıyla porozitenin arttığı, porozitenin artmasıyla da yüzey pürüzlülüğünün arttığı benzer çalışmalara rastlanmıştır (Ayrılmış, 2018; Liao ve diğ., 2019; Noori, 2019; Al-Maharma ve diğ., 2020). Tabloda görülen bazı değerlerin düzensiz olmasının, test numunelerindeki bölgesel boşluklardan kaynaklandığı söylenebilir.

Test numunelerinin çekme mukavemet değerleri Tablo 10’da verilmiştir. Farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS ve PLA filamentlerle üretilen numunelerin çekme mukavemet değerleri incelendiğinde, her iki malzeme için de en yüksek çekme mukavemeti değerlerinin Concentric dolgu deseniyle üretilen numunelerde olduğu, en düşük çekme mukavemeti değerlerinin de Lines 180° dolgu deseni ile üretilen numunelerde olduğu görülmektedir. Her iki malzeme için dolgu desenleri çekme mukavemet değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralandığında, Concentric > Lines 90° Connect > Zig Zag > Lines 0° > Lines 180° şeklinde bir dolgu deseni mukavemet sıralaması oluşmaktadır. ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünlerin çekme mukavemetleri kendi aralarında kıyaslandığında, her dolgu deseninde PLA

malzeme ile üretilen ürünlerin çekme mukavemeti değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

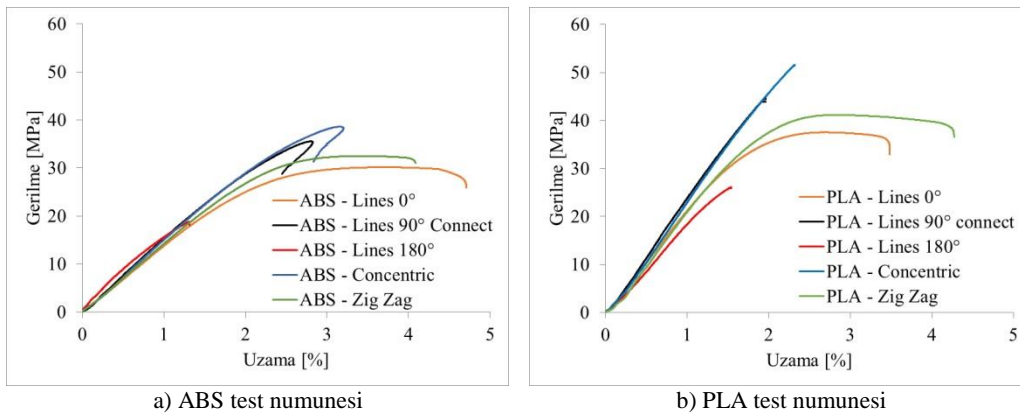
**Tablo 10. Farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen test numunelerinin pürüzlülük ve çekme mukavemeti değerleri**

Dolgu deseni	Aritmetik Ortalama Pürüzlülük Ra (µm)		Çekme Mukavemeti (MPa)	
	ABS Malzeme	PLA Malzeme	ABS Malzeme	PLA Malzeme
Lines 0°	6,00	8,59	30,153	37,534
Lines 90° Connect	6,01	7,20	35,546	44,850
Lines 180°	6,16	7,71	18,838	26,124
Concentric	6,01	9,25	38,583	51,623
Zig Zag	5,22	9,29	32,491	41,148

Şekil 10'da her iki malzeme ile farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Şekil 10a incelendiğinde, Lines 180° dolgu deseni kullanılarak ABS malzeme ile üretilen numunelerin gevrek malzeme gibi bir davranış sergilediği, akma olmadan malzemenin koptuğu görülmektedir. ABS malzeme ile Lines 90° Connect ve Concentric dolgu desenleriyle üretilen numunelerin en yüksek çekme dayanımına sahip dolgu tipleri olduğu ve bu dolgu desenlerine sahip numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin neredeyse birbiriyle çakışık olduğu söylenebilir. ABS malzeme ile Lines 0° ve Zig Zag dolgu desenleriyle üretilen numunelerin en yüksek kopma uzamasına sahip dolgu tipleri olduğu ve bu dolgu desenlerine sahip numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir.

Şekil 10b incelendiğinde, Lines 90° Connect, Lines 180° ve Concentric dolgu desenleri kullanılarak PLA malzeme ile üretilen numunelerin gevrek malzeme gibi bir davranış sergilediği, akma olmadan malzemenin koptuğu görülmektedir. PLA malzeme ile Lines 90° Connect ve Concentric dolgu desenleriyle üretilen numunelerin en yüksek çekme dayanımına sahip dolgu tipleri olduğu ve bu dolgu desenlerine sahip numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin neredeyse birbiriyle çakışık olduğu söylenebilir. PLA malzeme ile Lines 0° ve Zig Zag dolgu desenleriyle üretilen numunelerin en yüksek kopma uzamasına sahip dolgu tipleri olduğu ve bu dolgu desenlerine sahip numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin birbirine çok yakın olduğu söylenebilir.

ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünlerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen ürünlerin çekme mukavemeti değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden genel olarak daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 10:**

*Farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen test numunelerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri*



#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3 boyutu yazıcı ile ABS ve PLA malzeme kullanılarak farklı renklerde ve farklı dolgu desenlerinde çekme test numuneleri üretilmiştir. Filament renginin ve dolgu deseninin mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 3 boyutlu yazıcı ile üretilen çekme numunelerinin boyutlandırılmasında ASTM D638-14 standardı (ASTM D638-14, 2014) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

##### **Farklı renk çalışmaları:**

Farklı renklerde ABS filamentlerle üretilen çekme test numunelerinin kütlelerinde en fazla %5 farklılık görülmüştür. Farklı renklerde ABS filamentlerle üretilen çekme test numuneleri arasında en düşük porozite değerinin ABS Turuncu renk numunelerde olduğu, en düşük aritmetik ortalama pürüzlülük değerinin ABS Beyaz renk numunelerde olduğu belirlenmiştir. Farklı renklerde ABS malzeme kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin çekme mukavemet değerlerinin neredeyse değişmediği, üst yüzey sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu, ABS Beyaz renk numunelerin en yüksek sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Farklı renklerde PLA filamentlerle üretilen çekme test numunelerinin kütlelerinde en fazla %5 farklılık görülmüştür. Farklı renklerde PLA filamentlerle üretilen çekme test numuneleri arasında en yüksek porozite değerinin PLA Turuncu renk numunelerde olduğu, en düşük aritmetik ortalama pürüzlülük değerinin PLA Mavi renk numunelerde olduğu belirlenmiştir. Farklı renklerde PLA malzeme kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin çekme mukavemet değerlerinin neredeyse değişmediği, üst yüzey sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu, PLA Mavi renk numunelerin en yüksek sertlik değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Farklı renklerde PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak 2 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. PLA malzeme ile üretilen ürünlerin üst yüzey sertlik değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak %10 daha düşük olduğu belirlenmiştir. ABS malzeme ile üretilen ürünlerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin PLA malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak %30 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. PLA malzeme ile üretilen ürünlerin çekme mukavemeti değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak %20 daha yüksek olduğu, ABS malzeme ile üretilen ürünlerin kopma uzaması değerlerinin de PLA malzeme ile üretilen ürünlerden %30 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan filament renginin, 3 boyutlu yazıcı ile ABS ve PLA malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin çekme test sonuçları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

##### **Farklı dolgu deseni çalışmaları:**

Farklı dolgu desenleri ile ABS filament kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin kütlelerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı, en yüksek porozite değerinin Lines 180° dolgu desenine sahip numunelerde olduğu belirlenmiştir. Farklı dolgu desenleri ile ABS filament kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin üst yüzey sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu, Zig Zag dolgu desenine sahip numunelerin en yüksek sertlik ve en düşük aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Farklı dolgu desenleri ile PLA filament kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin kütlelerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı, en yüksek porozite değerinin Lines 0° dolgu desenine sahip numunelerde olduğu belirlenmiştir. Farklı dolgu desenleri ile PLA filament kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin üst yüzey sertlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu, Lines 90° Connect dolgu desenine sahip numunelerin en yüksek sertlik ve en düşük aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Farklı dolgu desenleri kullanılarak PLA malzeme ile üretilen ürünlerin porozite değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak 3 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. PLA malzeme ile üretilen ürünlerin üst yüzey sertlik değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak %10 daha düşük olduğu belirlenmiştir. ABS malzeme ile üretilen ürünlerin aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin PLA malzeme ile üretilen ürünlerden yaklaşık olarak %30 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. ABS ve PLA filamentlerle üretilen numuneler arasında, her iki malzeme için de en yüksek çekme mukavemeti değerlerinin Concentric dolgu deseniyle üretilen numunelerde olduğu, en düşük çekme mukavemeti değerlerinin de Lines 180° dolgu deseni ile üretilen numunelerde olduğu tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma; İnönü Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2020-2351 nolu proje ile desteklenmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

Yazarlardan “Muhammed Safa KAMER; çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, Şemsettin TEMİZ; çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetimi, veri analizi ve yorumlama, fiziksel içeriğin eleştirel incelemesi, Hakan YAYKAŞLI; çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, veri toplama, makale taslağının oluşturulması, Ahmet KAYA; çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetimi, fiziksel içeriğin eleştirel incelemesi” konularında makaleye katkı sağlamışlardır.

## KAYNAKLAR

1. Al-Maharma, A.Y., Patil, S.P. ve Markert, B. (2020) Effects of porosity on the mechanical properties of additively manufactured components: a critical review, *Materials Research Express*, 7(12), 2001. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abcc5d>
2. Andó, M., Biroşz, M. ve Jeganmohan, S. (2021) Surface bonding of additive manufactured parts from multi-colored PLA materials, *Measurement*, 169, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108583>
3. ASTM D638-14, (2014). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. <https://doi.org/10.1520/D0638-14>
4. Ayrılmış, N. (2018) Effect of layer thickness on surface properties of 3D printed materials produced from wood flour/PLA filament, *Polymer Testing*, 71, 163-166. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.09.009>
5. Chacón, J.M., Caminero, M.A., García-Plaza, E. ve 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. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065>

6. Dilberoğlu, U.M., Şimşek, S. ve Yaman, U. (2019) Shrinkage compensation approach proposed for ABS material in FDM process, *Materials and Manufacturing Processes*, 34(9), 993-998. <https://doi.org/10.1080/10426914.2019.1594252>
7. Graziosi, S., Cannazza, F., Vedani, M., Ratti, A., Tamburrino, F. ve Bordegoni, M. (2020) Design and testing of an innovative 3D-printed metal-composite junction, *Additive Manufacturing*, 36, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101311>
8. Gulcimen Cakan, B., Ensarioglu, C., Küçükakarsu, V., Tekin, İ. ve Çakır, M. (2021) FDM yöntemiyle üretilmiş öksetik bal peteği kutuların yöne bağlı darbe davranışının deneysel ve nümerik olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1657-1668. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.829758>
9. Kumar, R., Singh, R. ve Ahuja, I.P.S. (2019) Friction stir welding of ABS-15Al sheets by introducing compatible semi-consumable shoulder-less pin of PA6-50Al, *Measurement*, 131, 461-472. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.09.005>
10. Lay, M., Thajudin, N.L.N., Hamid, Z.A.A., Rusli, A., Abdullah, M.K. ve Shuib, R.K. (2019) Comparison of physical and mechanical properties of PLA, ABS and nylon 6 fabricated using fused deposition modeling and injection molding, *Composites Part B*, 176, 107341. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107341>
11. Liao, Y., Liu, C., Coppola, B., Barra, G., Di Maio, L., Incarnato, L. ve Lafdi, K. (2019) Effect of porosity and crystallinity on 3d printed PLA properties. *Polymers*, 11(9), 1487. <https://doi.org/10.3390/polym11091487>
12. Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q. ve Hui, D. (2018) Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges, *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
13. Ning, F., Cong, W., Hu, Y. ve Wang, H. (2017) Additive manufacturing of carbon fiber-reinforced plastic composites using fused deposition modeling: Effects of process parameters on tensile properties, *Journal of Composite Materials*, 51, 451-462. <https://doi.org/10.1177/0021998316646169>
14. Noori, H. (2019) Interlayer fracture energy of 3D-printed PLA material, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101, 1959-1965. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-3031-5>
15. Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baci, F. ve Marinescu, R. (2018) FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review, *Polymer Testing*, 69, 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.020>
16. Sezer, H., Eren, O., Börklü, H. ve Özdemir, V. (2019) Karbon fiber takviyeli polimer kompozitlerin ergiyik biriktirme yöntemi ile eklemeli imalatı: Fiber oranı ve yazdırma parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (2), 663-674. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416523>
17. Solmaz, M.Y. ve Çelik, E. (2018) 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yüğü Altındaki Performanslarının Araştırılması, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 277-286. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd/issue/35837/400526>
18. Sood, A.K., Ohdar, R.K. ve Mahapatra, S.S. (2010) Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts, *Materials & Design*, 31, 287-295. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.016>

19. Tatlı, O. ve Özgül, H.G. (2020) 3d printer design, manufacturing and effect of infill patterns on mechanical properties, *Icontech International Journal*, 4(1), 13-24. <https://doi.org/10.46291/ICONTECHvol4iss1pp13-24>
20. The Ultimaker 2 Extended specifications, (n.d.). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011987939-The-Ultimaker-2-Extended-specifications> (Erişim Tarihi: 06.02.2021)
21. The Ultimaker 2 Extended user manual, (n.d.). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011987819-The-Ultimaker-2-Extended-user-manual> (Erişim Tarihi: 06.02.2021)
22. Ultimaker ABS SDS, (2017). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962900-Ultimaker-ABS-SDS> (Erişim Tarihi: 15.02.2021)
23. Ultimaker ABS TDS, (2018). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759139-Ultimaker-ABS-TDS> (Erişim Tarihi: 15.02.2021)
24. Ultimaker PLA SDS, (2019). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759359-Ultimaker-PLA-SDS> (Erişim Tarihi: 15.02.2021)
25. Ultimaker PLA TDS, (2018). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962720-Ultimaker-PLA-TDS> (Erişim Tarihi: 15.02.2021)
26. Uzun, M., Gür, Y. ve Usca, Ü. (2018) Manufacturing of new type curvilinear tooth profiled involute gears using 3D printing, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 278-286. doi: 10.25092/baunfbed.398462
27. Uzun, M. ve Erdoğan, Y.E. (2020) Erişim yığıma modellemesi ile üretimde takviyesiz ve takviyeli pla kullanımının mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2800-2808. <https://doi.org/10.21597/jist.799230>
28. Wojtyła, S., Klama, P. ve Baran, T. (2017) Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(6), 80-85. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1285489>
29. Yaman, U. (2018) Shrinkage compensation of holes via shrinkage of interior structure in FDM process, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 2187–2197. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1018-2>
30. Yaman, U. (2019) Topoloji optimizasyonu yapılmış parçaların 3b yazıcılar ile doğrudan üretilmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(1), 236-244. <https://doi.org/10.29109/gujsc.491244>
31. Zhang, P. ve To, A.C. (2016) Transversely isotropic hyperelastic-viscoplastic model for glassy polymers with application to additive manufactured photopolymers, *International Journal of Plasticity*, 80, 56-74. <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2015.12.012>