



3B yazıcılarda üretilmiş farklı renkli PLA malzemelerin mekanik ve optik özelliklerinin incelenmesi

Investigation of the mechanical and optical properties of different colored PLA materials produced by 3D printers

Mustafa Samet Özkara¹ , Furkan Güneş² , Erhan Baysal³ , Furkan Parmaksız⁴ ,
Nergizhan Anaç^{5,*} , Oğuz Koçar⁶

^{1,2,4,5,6} Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

³ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Alaplı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 67850, Zonguldak, Türkiye

Öz

3B yazdırma işlemi, popüler eklemeli imalat yöntemlerinden biridir. 3B yazıcılarda kullanılan filament malzemeleri ve eklenen katkı maddeleri (renklendiriciler, plastikleştiriciler, dolgu malzemeleri vs.) üretim sürecini, ürünün görsel, mekanik ve optik özelliklerini etkileyen unsurlardır. Bu çalışma 3B yazıcıda üretim yapan araştırmacıların ürünlerde mukavemet, renk ve yüzey yapıları (parlak, mat) arasındaki ilişkiyi anlaması için yapılmıştır. Sekiz farklı renk PLA Plus filament (beyaz, turuncu, pembe, açık mavi, kırmızı, altın sarı, siyah ve kahverengi) ile %100 doluluk oranında parçalar basılmış ve yüzey pürüzlülüğü, mekanik (çekme, eğme ve sertlik) ve optik özellikler (renk ve parlaklık) incelenmiştir. Deneylerde, en iyi çekme ve eğme mukavemeti beyaz filamentte sırasıyla 59.06 MPa ve 108.75 N olarak bulunmuştur. Bu renk malzemede en yüksek sertlik değeri (86.28 Shore D), en düşük yüzey pürüzlülüğü (2.95 µm) ve en parlak yüzey ölçülmüştür. Sonuçlar filament renklerinin mekanik özelliklerde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve 3B yazıcı kullanıcılarının üretimde renkleri dikkate alması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: 3B baskı, PLA plus, Mekanik özellikler, Yüzey pürüzlülüğü, Optik özellikler

1 Giriş

3 boyutlu yazıcı ile imalat tekniği, yenilikçi eklemeli imalat yöntemlerinden biridir. Hem ev kullanıcılarına hem de sanayide üreticilere hitap eden çalışma prensibi sayesinde oldukça popüler olmuştur. 3B baskı almak için tasarlanan parça, sarf malzemesi olarak kullanılan filamentin belli bir sıcaklıkta erimesi ve katman katman üst üste eklenmesiyle üretilmektedir. Filamentler biyobozunur veya petrol türevli kaynaklardan elde edilmektedirler. Filamentin granül formundan plastik tel haline gelme süreci 3B yazıcıda basım esnasındaki akışı ve imalat kalitesini etkiler [1]. Bu süreçte filament malzemelerine eklenen çeşitli katkılar (renklendiriciler, dolgu maddeleri, plastikleştiriciler ve diğer katkı maddeleri) malzemelerin özelliklerini değiştirmektedirler [2]. Üretimde kullanılan malzemelerin özelliklerini bilmek süreci doğru yönetmek için gereklidir.

Abstract

3D printing is one of the popular additive manufacturing methods. Filament materials and added additives (colorants, plasticizers, fillers, etc.) used in 3D printers affect the production process as well as the visual, mechanical, and optical properties of the product. This study was conducted to help researchers using 3D printers understand the relationship between strength, color, and surface structures (glossy, matte) in printed products. Parts were printed using eight different colors of PLA Plus filament (white, orange, pink, light blue, red, golden yellow, black and brown) with 100% infill. Surface roughness, mechanical properties (tensile, flexural, and hardness), and optical properties (color and gloss) were analyzed. The highest tensile and flexural strength values were found in white filament (59.06 MPa and 108.75 N, respectively). This color also had the highest hardness (86.28 Shore D), the lowest surface roughness (2.95 µm), and the glossiest surface. The results indicate that filament colors significantly affect mechanical properties, and 3D printer users should consider color selection in production.

Keywords: 3D printing, PLA plus, Mechanical properties, Surface roughness, Optical properties

Bununla beraber 3B yazıcı filamentleri söz konusu olduğunda her zaman bu mümkün olamamaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, 3B yazıcılar, yazdırma parametreleri, filament malzemeleri ve son ürün özelliklerini geliştiren ardıl işlemlere kadar 3B yazdırma işlemini farklı bölümlerde incelemektedirler. 3B yazdırma işleminde filament tipi, katman kalınlığı, doluluk oranları, yazdırma yönü gibi baskı parametrelerinin yanı sıra parça baskı kalitesini belirleyen yüzey pürüzlülüğü ve çekme mukavemeti gibi göstergeler bulunmaktadır [3].

3B yazdırma çalışmaları ilerledikçe, yeni araştırma konuları ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri, parçaların optik özelliklerinin ve mukavemetle ilişkisidir. Plastiklerin kullanıldığı birçok sektörde ürün estetiği ve yüzey özellikleri önemlidir. Plastikler çok çeşitli renklere sahip olabilirler. Yapılan literatür araştırmasında 3B basılmış renkli 3B

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: nergizhan.kavak@beun.edu.tr (N. Anaç)

Geliş / Received: 20.02.2025 Kabul / Accepted: 11.04.2025 Yayınlanma / Published: 15.07.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1643581

malzemelerin optik özelliklerini anlamak için gerçekleştirilmiş bazı çalışmalar [4] olduğu görülmüştür. Soares vd. üç farklı renkte (natürel, siyah ve gri) model üreterek ürün kalitesinin filament rengi ile ilişkisi hakkında yaptıkları çalışmada bozunma ve cam geçiş sıcaklığının PLA rengi ile değiştiğini raporladılar [5]. Farklı renkler (gri, yeşil ve pembe) ile renk pigmenti içermeyen şeffaf PLA kullanılan bir başka çalışmada araştırmacılar en düşük yüzey pürüzlülüğünü şeffaf PLA'da belirlediler ve bunun nedenini viskozitenin değişmesi olarak açıkladılar. Yeşil rengin PLA için en kötü mekanik özelliği verdiğini ve pigmentin, polimerin özelliklerini ciddi şekilde değiştirdiğini ifade ettiler [6]. Beyaz, siyah ve gri filament renklerinde üretilen diğer bir çalışmada PLA rengine bağlı aşınma ile sürtünme davranışlarının değiştiği ve beyaz rengin en yüksek sürtünme katsayısını sunduğu rapor edilmektedir [7]. Renk etkisinin incelendiği bir başka çalışmada ise farklı doluluk oranlarına (%15, %30 ve %50) ve renk dağılım oranlarına (%33, %66 ve %99) sahip mavi, yeşil ve kırmızı PLA numuneleri araştırıldı. Çekme dayanımı üzerinde renk pigmentinin %12.85 ve renklendirmenin %2.46 etkili olduğu ifade edildi.

Ayrıca PLA Plus için %50 doluluk oranında en az yüzey pürüzlülüğü mavi renkte tespit edilmiştir [8]. Farklı parametrelere (baskı hızı, katman kalınlığı ve baskı sıcaklığı) bağlı olarak kırmızı, mavi ve sarı renk PLA filamentlerinin kullanıldığı bir başka çalışmada tüm renkler için baskı parametrelerine göre çekme mukavemeti değerleri farklılık göstermektedir [9]. Frunzaverde vd. yaptıkları çalışmada farklı katman kalınlıklarında (0.05, 0.10, 0.15 ve 0.20 mm) siyah, kırmızı, gri ve natürel renkli filamentler kullandı. Tüm katman kalınlıklarında en iyi çekme mukavemeti (57.10-59.82 MPa) gri renkte görülürken en kötü dayanıma sahip renk siyah olarak belirlenmiştir [10]. Renk etkisini belirlemek isteyen bir diğer çalışmada ise 14 farklı renkte PLA üreten araştırmacılar en iyi çekme mukavemeti sunan renklerin sırasıyla kırmızı, siyah ve gri olduğunu ifade ederken renklere bağlı olarak çekme mukavemetinin 35-46 MPa arasında değiştiğini raporladılar [11]. Boyaların ve pigmentlerin üretim sürecine dahil edilmesi polimerlerin performansını etkilemektedir. Malzemenin ömrünü azaltabilir veya bozulmaya karşı stabilitesini iyileştirebilir. Bu sebeple üretilen polimerlerde renk pigment etkisinin dikkate alınması önemlidir.

Aydın vd. [12] PLA (polilaktik asit) filamentin 190°C, 200°C, 210°C ve 220°C sıcaklıklarındaki reolojik özellikleri ve 30, 50 ve 70 mm/saniye gibi üç farklı yazdırma hızında shore-D sertlik ve çekme testleri ile mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Bununla birlikte, yazdırma sıcaklığının malzemenin rengine sıcaklığa bağlı değişimi değerlendirilmiş ve yaptıkları renk analizlerine göre hem yazdırma hızının hem de sıcaklığın etkisinin az olduğunu ifade etmişlerdir.

Literatür incelendiğinde filament rengi, çekme, eğme mukavemeti, yüzey pürüzlülüğü ve akış hızı arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmaların olduğu belirlenmiştir. Filament rengi özellikle son kullanıcıyı doğrudan ilgilendirdiği için renk her geçen gün artmaktadır. Yapılan çalışmada, %100 doluluk oranlarında farklı renklerdeki PLA Plus malzemelerin yüzey pürüzlülüğü, mekanik (çekme,

eğme, sertlik) ve optik özellikleri (renk ve parlaklık) incelenmiştir. Özellikle filament renginin mekanik ve optik özelliklere etkisini bir arada inceleyen bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Filament renginin (beyaz, turuncu, pembe, açık mavi, kırmızı, altın sarı, siyah, kahverengi) malzeme özellikleri üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Üretilen numunelerin sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri, renk ve parlaklıkları ölçülmüştür. Numunelere çekme ve eğme testleri yapılarak mukavemetleri değerlendirilmiştir.

2 Materyal ve metod

2.1 Filament özellikleri

Deneysel Esun markasına ait PLA Plus filamentler kullanılmıştır. PLA doğası gereği, insan sağlığına zarar vermeyen, yüksek biyo içeriğe sahip, toksik olmayan ve karbon ayak izini azaltan bir yapıya sahip olmakla beraber yapısında bulundurduğu şeker kamışı ve mısır nişastası gibi organik kaynaklar ile çevre dostu uygulamalar için de kullanılabilir. Bu yöntemde en fazla tercih edilen baskı malzemelerinden biri PLA'dır. PLA ve PLA esaslı malzemeden imal edilen ürünler çok çeşitli ürünlerde günlük yaşamda kullanılmaktadır. PLA Plus, PLA malzemesinin güçlendirilmiş halidir ve PLA'ya göre daha yüksek darbe direnci ile daha yüksek tokluk özellikleri göstermektedir [13]. Bu nedenle çalışmada kullanılan deney numunelerinde PLA Plus seçilmiştir. Üretilen baskı numunelerinin mekanik ve optik özelliklerinde renklerin etkisini belirlemek için beyaz, turuncu, pembe, açık mavi, kırmızı, altın sarı, siyah ve kahverengi olmak üzere 8 farklı renkte PLA Plus kullanılmıştır. Tablo 1'de filament üreticisinin belirttiği mekanik özellikler verilmektedir [14].

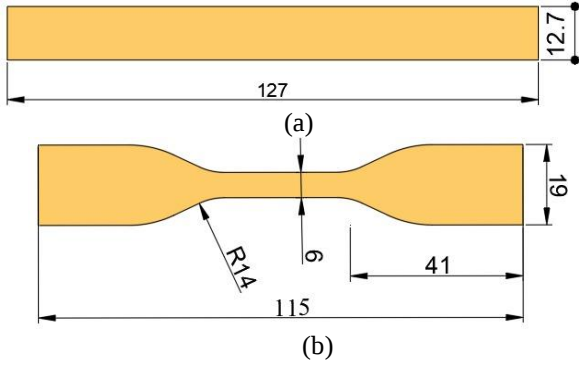
Tablo 1. Kullanılan filamentlerin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	PLA Plus
Özkütle (g/cm ³)	1.23
Çekme Mukavemeti (MPa)	63
Çekme Uzaması (%)	20
Filament Çapı (mm)	1.75
Marka	eSUN

2.2 Baskı süreci

Çalışmada kullanılan malzemelerin renk, pürüzlülük, parlaklık ve sertlik değerlerinin ölçülmesi amacıyla 80x30x4 mm boyutlarında dikdörtgen yapıları plakalar üretilmiştir. Ayrıca, mekanik özelliklerin tespiti için 3 noktadan eğme (ASTM D790) ve çekme testi (ASTM D638: Tip IV) numuneleri üretilmiştir (Şekil 1).

Tüm numunelerin üretimi, FDM (Fused Deposition Modelling) yöntemi kullanılarak Ender 3S-1 Plus yazıcısında gerçekleştirilmiştir. Yazdırma sürecinde kullanılan parametreler ve ekipmanlar, parçalar arasında tutarlılık sağlamak amacıyla sabit tutulmuştur. Numuneler, %100 doluluk oranı ve 0.4 mm çapındaki pirinç nozül kullanılarak üretilmiştir. Ayrıca 3B yazdırma işlemi, 60 mm/s baskı hızı, 210 °C nozül sıcaklığı ve 60 °C tabla sıcaklığı parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Numune ölçüleri a) eğme ve b) çekme (Ölçüler mm'dir)

2.3 Malzeme özelliklerini belirlemek için kullanılan testler

Çalışmada kullanılan farklı renklere sahip numunelere, ASTM D638 standardına göre çekme testi ve ASTM D790 standardına göre 3 noktadan eğme testi uygulanmıştır. Denklem (1)'de eğme dayanımı ve Denklem (2)'de şekil değiştirme hesaplama yöntemi verilmektedir.

$$\sigma_{max} = \frac{3}{2} * \frac{P_{max} * L}{b * h^2} \quad (1)$$

Bu denklemde σ : eğme dayanımı (MPa), P_{max} : numuneye uygulanan kuvvet (N), L : mesnet merkezleri arası açıklık (mm), b : numune genişliği (mm), h : numune kalınlığı (mm) ve D : maksimum hareket mesafesi olarak gösterilmiştir.

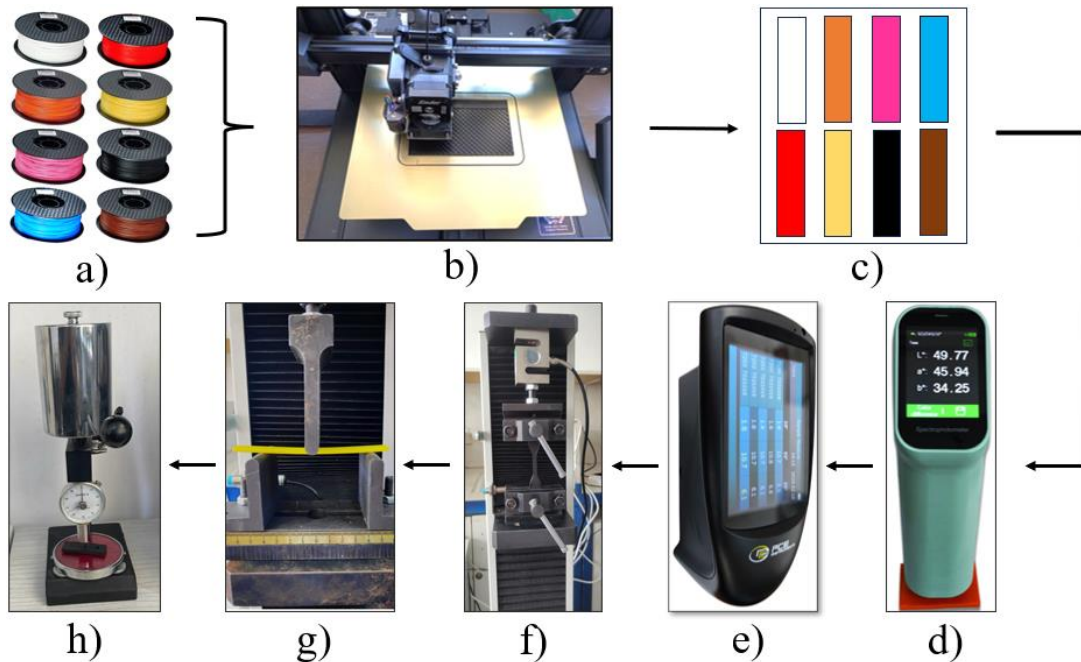
$$\varepsilon_f = 6 * \frac{D * h}{L^2} \quad (2)$$

Oda sıcaklığında 2 mm/dk test hızında gerçekleşen çekme ve eğme testleri için 5kN kapasiteye sahip WDW-5 model universal test cihazı kullanılmıştır. Yapılan mekanik testler dört tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümü ASTM D2240 standardına uygun olarak Loyka (Guangdong, Çin) markalı Shore-D durometresi kullanılarak yapılmış, on farklı bölgeden sertlik ölçülmüş ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

Optik özelliklerin belirlenmesinde ise CHNSpec (Hangzhou, Çin) marka CS410 model spektrokolorimetre kullanılmıştır. Bu sayede renklerin CieLab skalasında L^* , a^* ve b^* değerleri ölçülmüştür. Her bir numune üzerinden dört ölçüm alınmış, farklı renkteki numunelerin renk değerleri bu ölçümlerin ortalamaları alınarak belirlenmiştir. Test numunelerinin parlaklık ölçümü ise 60° açıyla ISO 2813 standardına göre PCE-PGM 100 model (Meschede, Almanya) parlaklık ölçüm cihazında beş tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü Mitutoyo (Kawasaki, Japonya) marka SJ301 model portatif yüzey pürüzlülüğü cihazıyla ölçülmüştür. Değerler her numuneden beş tekrarlı olarak okunmuş ve ortalamaları alınmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

Bu çalışmada 8 farklı renkte (beyaz, turuncu, pembe, açık mavi, kırmızı, altın sarı, siyah, kahverengi) PLA Plus filament kullanılmıştır. Filamentlerden üretilen levhalar 0.2 mm katman kalınlığı ile %100 doluluk oranında basılmıştır. Hazırlanan levhalarda yüzey pürüzlülüğü, renk ve parlaklık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra malzeme dayanımını belirlemek amacıyla sertlik, çekme ve eğme testleri uygulanmıştır (Şekil 2).



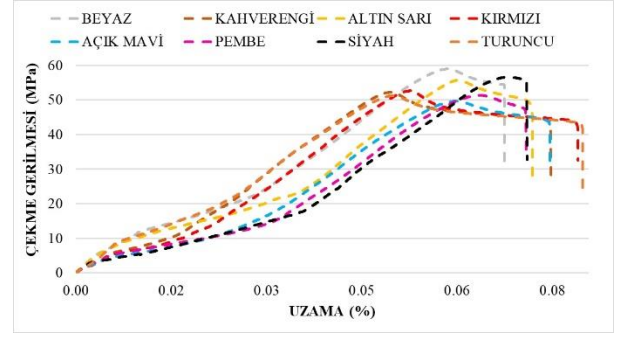
Şekil 2. DeneySEL çalışmaların şematik gösterimi, (a) filamentler (b) 3B yazıcı (c) üretilen deney numuneleri (d) renk ölçer (e) parlaklık ölçer (f) çekme testi (g) eğme testi (h) shore d sertlik testi

3.1 Çekme testi sonuçları

Farklı renklerdeki PLA Plus filamentlerden basılan numunelerin çekme dayanımları Şekil 3'te, ortalama değerlere en yakın gerilme-gerinim diyagramları Şekil 4'te verilmiştir. En yüksek çekme dayanımı beyaz renk PLA Plus'da 59.06 MPa olarak belirlenmiştir. En düşük çekme dayanımı ise açık mavi renk PLA Plus'da 49.94 MPa olarak elde edilmiştir. Çekme dayanımları, yüksekte düşüğe doğru beyaz, siyah, altın sarı, kırmızı, kahverengi, turuncu, pembe ve açık mavi olarak sıralanmaktadır. Bu sonuçlar, renk pigmentlerinin PLA Plus dayanımı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 4 incelendiğinde çekme mukavemeti arttıkça sünekliğin azaldığı görülmektedir. Beyaz, siyah, altın sarı, kırmızı, kahverengi, turuncu, pembe, açık mavi renklerinin sırasıyla yüzde uzamaları %6.12, %7.26, %8.14, %7.15, %6.97, %7.24, %7.77, %7.12'dir. Çekme mukavemeti en yüksek (59.06 MPa) ve yüzde uzaması en düşük (%6.12) olan beyaz renk olarak belirlenmiştir. En yüksek yüzde uzama %8.14 ile kırmızı renkli filamentte meydana gelmiştir.

ÇEKME DAYANIMI (MPa)	
BEYAZ	59.06
SİYAH	56.16
ALTIN SARI	54.32
KIRMIZI	52.34
KAHVERENGİ	51.75
TURUNCU	51.02
PEMBE	50.65
AÇIK MAVİ	49.94

Şekil 3. Çekme dayanımının renklere göre dağılımı



Şekil 4. Renklere göre gerilme uzama grafiği

Gao vd. filament renkleriyle ilgili yaptıkları çalışmada %100 doluluk oranına sahip sekiz farklı renkte (kırmızı, altın sarı, açık mavi, yeşil, siyah, turuncu, mor ve yarı saydam beyaz) ABS ile PLA parçalar üzerinde rengin etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonuçları, PLA için mor renkli numunelerde ve ABS için yeşil renkteki numunelerde mekanik özelliklerin en iyi değerlere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Farklı renklerin kullanıldığı bu çalışmada PLA için rengin malzeme performansı üzerindeki etkisi çekme dayanımı için %14, basma dayanımı için yaklaşık %20 oranında değişmiştir [15]. Bu çalışmanın sonuçları mevcut çalışma ile birbirini doğrulamaktadır.

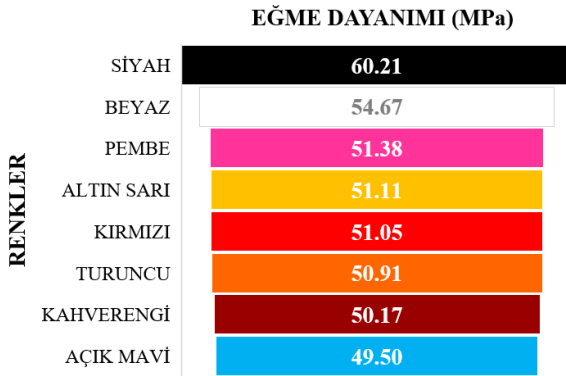
Çekme testi sonrası numunelerin kırılma yüzeyleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde tüm numunelerde kopmanın aynı yerden olduğu ve hasarın ölçüm bölgesinde kaldığı görülmektedir. Kırılma, numunelerin basım yönü doğrultusunda ve katmanlar arasında gerçekleşmiştir. Aynı zamanda numunelerin kırılma yüzeyleri düz ve keskin kenar şekline sahip olarak birbirine benzemektedir.



Şekil 5. Çekme deneyi sonrasında numunelerin kırılma yüzey görüntüleri

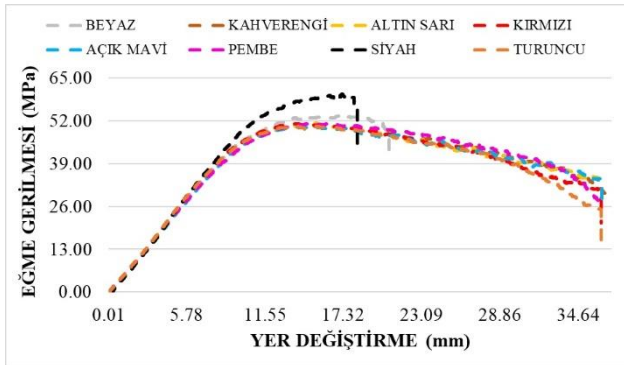
3.2 Eğme testi sonuçları

Şekil 6’da renklere göre eğme testinin sonuçları verilmektedir. Eğme mukavemetinin en yüksek değeri siyah renk pigmentine sahip PLA Plus numunede 60.21 MPa olarak bulunmuştur. Eğme mukavemetinin en düşük değeri ise açık mavi renk pigmentine sahip PLA Plus numunede 49.50 MPa olarak ölçülmüştür. Eğme mukavemeti değerleri yüksekten düşüğe doğru sıralandığında sırasıyla siyah, beyaz, pembe, altın sarı, kırmızı, turuncu, kahverengi ve açık mavi renkli parçalarda olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Eğme dayanımının renklere göre değişim grafiği

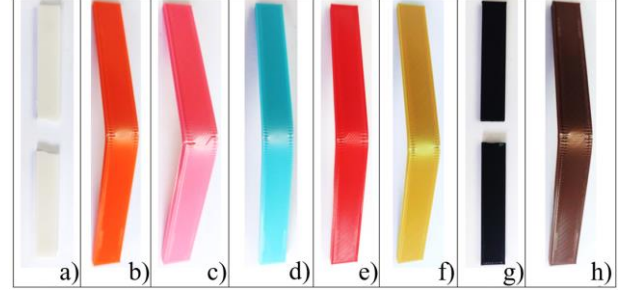
Şekil 7’de eğme testi sonrası eğme gerilmesi-yer değiştirme grafiği verilmiştir. Renge göre çatlak başlama mesafeleri farklılık göstermiştir. Siyah, beyaz, pembe, altın sarı, kırmızı, turuncu, kahverengi ve açık mavi renkleri sırasıyla çatlak başlama mesafeleri 17.53, 19.54, 36.95, 37.38, 35.23, 35.12, 35.27, 35.67 mm olarak belirlenmiştir. En yüksek eğme mukavemeti 60.21 MPa ve en erken çatlak oluşumu 17.53 mm ile siyah renkli filamentte meydana gelmiştir. Yüksek eğilme mukavemetine sahip siyah ve beyaz renkli numuneler tamamen kırılmıştır. Eğme mukavemeti düştükçe süneklik artmış ve kırılma yerine yüzeysel çatlaklar oluşmuştur. En düşük eğme mukavemetine (49.50 MPa) sahip açık mavi renkli numunelerin yüzeyinde çatlaklar az oluşmuştur.



Şekil 7. Renklere göre eğilme gerilmesi-yer değiştirme grafiği

Şekil 8’de eğme testi sonrasında numunelerin kırılma yüzeyleri gösterilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde eğme

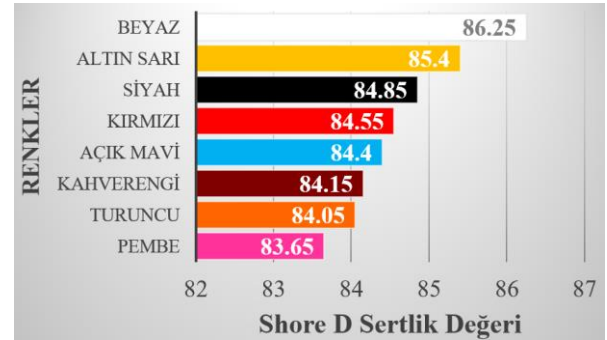
testinde numunelere uygulanan yükün bazı numunelerde (kahverengi, altın sarı, kırmızı, açık mavi, pembe ve turuncu) yükleme hattı boyunca çatlak oluşturduğu görülmektedir. Bu numuneler tam kırılma gerçekleşmeden plastik deformasyona uğramıştır. Bununla birlikte, beyaz ve siyah numuneler eğme testinde tamamen kırılmıştır.



Şekil 8. Eğme testi sonrası parça kırılma yüzeyleri a) beyaz, b) turuncu, c) pembe, d) açık mavi, e) kırmızı, f) altın sarı, g) siyah ve h) kahverengi

3.3 Sertlik ölçümü sonuçları

Şekil 9’da sertlik değerinin renklere bağlı değişimi verilmektedir. Sertlik değeri en yüksek beyaz renk pigmentine sahip PLA Plus’da görülürken en düşük değer ise pembe renkli PLA Plus’da tespit edilmiştir. Sertlik değerleri yüksekten düşüğe göre beyaz, altın sarı, siyah, kırmızı, açık mavi, kahverengi, turuncu ve pembe olarak sıralanmaktadır.

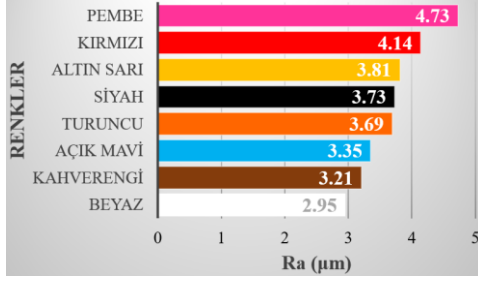


Şekil 9. Renklere göre sertlik değerinin değişimi

3.4 Yüzey pürüzlülüğü sonuçları

Şekil 10’da renge bağlı olarak aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri verilmiştir. En yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri pembe renkli PLA Plus’da 4.73 µm, en düşük yüzey pürüzlülüğü ise beyaz renkli PLA Plus’da 2.95 µm olarak ölçülmüştür. Pembe ve kırmızı numunelerin yüzey pürüzlülüğü diğerler numunelere göre daha yüksek ve birbirine yakın çıkmıştır.

Yüzey pürüzlülük değerleri yüksekten düşüğe doğru pembe, kırmızı, altın sarı, siyah, turuncu, açık mavi, kahverengi ve beyaz renkli numunelerden okunmuştur. Okunan yüzey pürüzlülüğü değerleri 2.95-4.73 µm aralığında bulunmuştur.



Şekil 10. Renk değişimine bağlı yüzey pürüzlülük değerleri

3.5 Renk ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

1976 yılından beri CIE L*a*b* olarak bilinen bir renk sistemi renk ölçümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. CIE renk sisteminde renk üç koordinatla gösterilir: "L*, a* ve b*". Bu sisteme göre L* (açıklık-koyuluk beyaz için L* = 100, siyah için L* = 0), a* (yeşil-kırmızı, +a* kırmızılığı, -a* yeşili) ve b* (açık mavi-sarı, +b* sarılığı, -b* maviyi) temsil edilen parametrelerdir. L*a*b* koordinatlarının ölçülmesi, bu sistem sınırları içerisinde herhangi bir renk tonunun tanımlanmasına olanak sağlar [16]. Şekil 11'de deney numunelerinden alınan renk ölçümleri verilmiştir.

RENK		DEĞER	RENK		DEĞER
BEYAZ	L*	81.43	TURUNCU	L*	60.47
	a*	-1.48		a*	49.48
	b*	2.66		b*	46.42
PEMBE	L*	69.15	AÇIK MAVİ	L*	64.54
	a*	54.63		a*	-30.30
	b*	6.27		b*	-16.47
KIRMIZI	L*	46.82	ALTIN SARI	L*	67.18
	a*	49.59		a*	12.83
	b*	30.74		b*	56.61
SİYAH	L*	17.39	KAHVERENGİ	L*	37.39
	a*	0.09		a*	9.09
	b*	-3.48		b*	13.90

Şekil 11. Renk ölçüm testi sonuçları

Şekil 12 (a)'da bir rengin konumu için üç boyutlu dikdörtgen bir koordinat sistemi sunulmuştur. CIE L*a*b* değeri bir rengi bu ölçekte 3 boyutlu koordinatlarıyla gösterir. Deneylerde kullanılan malzemelerin renklerinin koordinat sisteminde yerleştirilmesi yapılmış ve Şekil 12 (b)'de verilmiştir.

3.6 Parlaklık Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

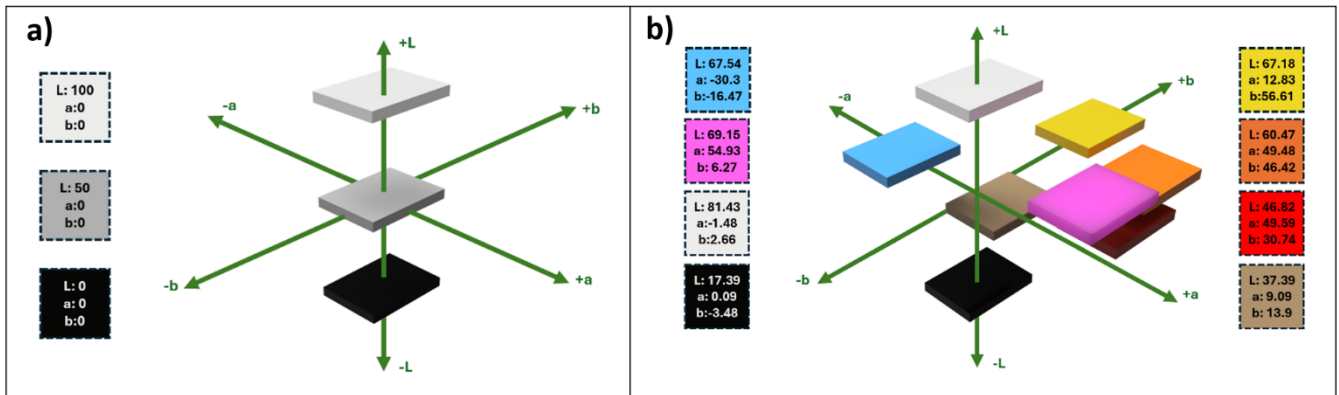
Parlaklık; bir cismin yüzeyinden yansıyan ışık yoğunluğunun, yüzeye gelen ışık yoğunluğuna oranı olarak ifade edilen bir optik özelliktir. Sektörel ihtiyaçlara bağlı olarak malzeme ve ürün değerlendirmelerinde doğru olarak ölçmek çok önemlidir [17]. Parlaklık, öncelikle malzemenin doğası ve yüzey pürüzsüzlüğü tarafından belirlenir [18]. Parlaklık ölçümleri numunelerin parlak, yarı parlak veya mat olup olmadığını anlamaya yardımcı olmaktadır.

Genel olarak parlaklık ölçümlerinde 20° çok parlak katmanların, 60° hem mat hem de parlak katmanların, 85° ise mat katmanların yüzey parlaklığını belirlemek için kullanılırlar [19].

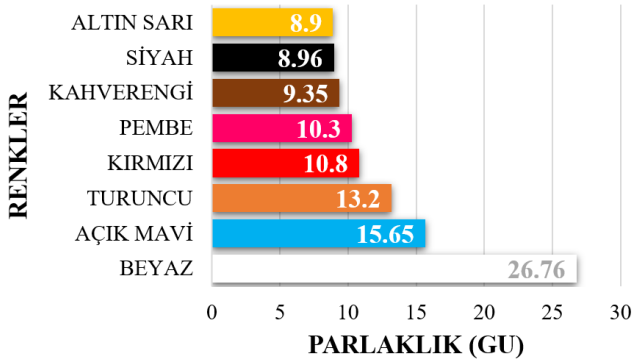
Parlaklık birimi, Gloss Unit (GU)'dir. Bu çalışmada, 3B yazıcıda üretilen parçalar basıldıktan sonra ilk olarak gözle muayene edilmiştir. Parça yüzeylerinin aynı cins malzemeden üretilmesine rağmen parlaklık ve matlık durumlarının birbirinden farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Daha sonra, numunelerin parlaklık değerleri ölçüm cihazıyla ölçülmüş ve 8.9-26.76 GU arasında bulunmuştur. Şekil 13'te numunelerden alınan parlaklık değerleri verilmiştir.

Parlaklık değerlendirilmesinde en parlak yüzey, beyaz PLA Plus numunelerde görülmüştür. Bu durum, parçanın yüzey pürüzlülüğü azaldıkça parlaklığının artarak yüzeyinin ayna gibi parlak olması fikrini desteklemektedir. Pembe ve kırmızı PLA Plus numunelerin yüzey parlaklıkları ise birbirine yakın ve beklenildiği gibi düşük çıkmıştır. Altın sarı ve siyah numunelerin parlaklıkları ile yüzey pürüzlülük değerleri arasında bir ilişki kurulamazken, diğer numunelerin parlaklıkları yüzey pürüzlülükleriyle doğrudan bağlantılı olduğu görülmüştür



Şekil 12. CIE L*a*b* değerinin 3 boyutlu koordinatlarının gösterimi: a) şematik renk sistemi b) deney malzemelerinin renklerine göre yerleştirilmesi



Şekil 13. 60° ölçüm geometrisi için parlaklık ölçüm sonuçları

4 Sonuçlar

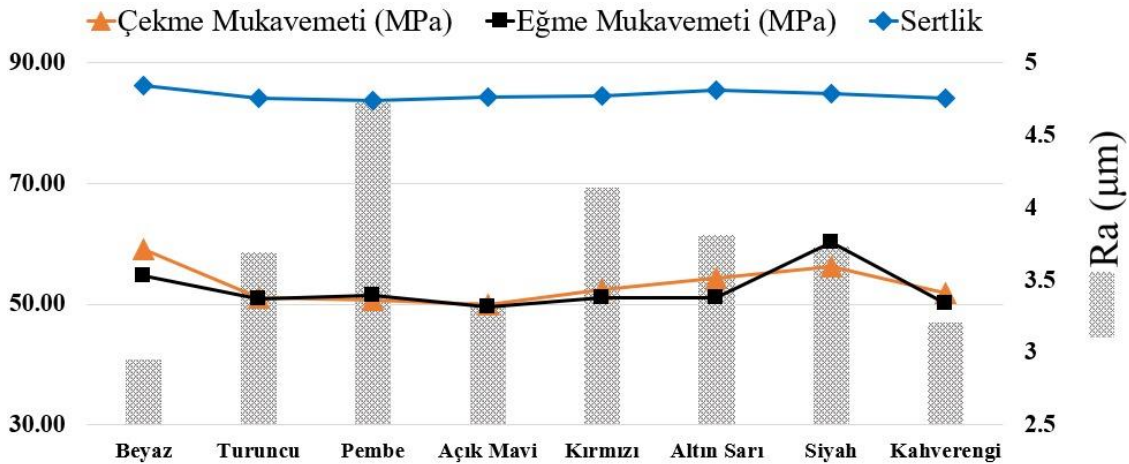
Plastik malzemeler hem prototipleme hem de üretimde diğer 3B baskı malzemelerinden nispeten daha uygun maliyetli oldukları için halen kullanılan en yaygın malzeme grubudur. Geniş kullanımları nedeniyle, plastikler mekanik özellikleriyle ilgili birçok varyasyona sahiptir ve orta-yüksek performanslı uygulamalar yapılabilir. 3B parça basımında, PLA malzeme parlaklık ve renk özelliklerinin çeşitliliği sebebiyle çok popülerdir. Malzemelerde estetik görünüm - özellikle renk- ürünleri farklılaştırmada kritik bir rol oynar. Örneğin filamentte mavi renk, istenmeyen kontaminasyon durumunda gıda ürünlerindeki parçaların görsel olarak veya optik dedektörlerle tespit edilmesini kolaylaştırması sebebiyle tercih edilebilmektedir [20]. UV ışınlarına dayanıklılıkla birlikte renkli veya şeffaf görünüm isteyen ambalaj sektörünün beklentisiyle, parçalarda yanmazlık ve mukavemetin ön plana çıktığı otomotiv sektöründeki beklenti birbirinden farklı olacaktır. Filament renginin, pratik uygulamalarda parçaların performansı/mechanik özellikleri üzerinde herhangi bir etkisi var mıdır? Profesyonel anlamda 3B baskı ile ilgilenen kullanıcıların cevabını aradığı sorulardan biri budur [21]. Filamentlerin içine katılan renk veren maddelerin kaynağı, miktarı ve

kimyasal içerikleri 3B yazıcı kullanıcısı tarafından bilinmemektedir.

Renk veren maddeler organik ve inorganik pigmentlerden siyah ve titanyum dioksit için karbona kadar değişebilir. Bu nedenle renk ve mukavemet ilişkisi hakkında kesin bir çerçeve çizmek ve genelleme yapmak kolay değildir. Elbette 3B yazıcı kullanıcısı ticari filamentler yerine kendi filamentini üreterek kalite, renk ve malzeme özellikleri üzerinde daha fazla kontrol sağlayabilir. Fakat, filament üretmek ile 3B baskı almak birbirinden ayrı iki alandır. Filament üretimi ekstra ekipman ve uzmanlık istediğinden, ticari filamentlerin kullanımı daha kolay ve yaygındır.

Bu çalışmada eSUN filament markasına ait sekiz farklı renkte numune kullanılmıştır. Şekil 14’de çekme mukavemeti, eğme mukavemeti, sertlik ve yüzey pürüzlülük değerleri birlikte verilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti (59.06 MPa), en düşük yüzey pürüzlülük değeri (2.95 µm) ve en yüksek parlaklık değeri (26.76 GU) beyaz renk PLA Plus’da tespit edilmiştir. Çekme mukavemetinde renk etkisi oranı yaklaşık %18 olmaktadır. Pembe renk PLA Plus’da ise en düşük sertlik değeri (83.65 Shore D) ve en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (4.73 µm) görülmüştür. Sertlik değerinde renk etkisi yaklaşık %3 olurken yüzey pürüzlülüğünde bu değer yaklaşık %60 olmaktadır. Eğme değerlerinde renk etkisi yaklaşık %22 oranında bir fark çıkarmaktadır.

PLA Plus malzeme numunelerinin birbirinden farklı dayanım değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, PLA Plus numunelerin bazılarında numune üretim sürecinde katmanlar arasında sağlanan bağın diğerlerine göre daha iyi olmasıdır. Bu durumun filament üretim sürecinde PLA Plus malzemeye renk vermek için eklenen boya maddelerden ve bu maddelerin malzemeyle uyumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Malzeme renginin PLA Plus’nın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç diğer araştırmalardan elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir [11, 22]. Üretim sırasında yapılan renklendirme işlemleri, mekanik özelliklerin yanı sıra ısı işleme ve mekanik işleme gibi çeşitli adımlarla optik özellikleri etkileyebilir [23].



Şekil 14. Renklere göre mekanik özelliklerin değişimi

Renklendiricilerin çeşidi, plastiklerin optik özelliklerini etkileyebilir [24]. Bunun yanında pürüzsüz ve düzgün bir yüzeyin, pürüzlü veya düzensiz bir yüzeyden daha yüksek bir parlaklık değerine sahip olacağı bilinmektedir. Pürüzsüz yüzeyler ışığı homojen olarak yansıtmaktadır [25, 26]. Parlaklık ölçümlerinin sonuçları, pürüzlülük ve parlaklık arasında bir bağlantı olabileceğini göstermektedir. Farklı açılardaki parlaklık değerlerinin değişkenliği, dolgu maddeleri veya pigmentlerle oluşan düzensiz yüzeyle ilişkili olabilir [27]. Bununla beraber renk, pürüzlülük ve parlaklığın birlikte incelenmesinin yanında malzemelerin ışıkla etkileşiminin de ne olduğunun kapsamlı değerlendirilmesi bu alanda yeni araştırma konuları oluşturma potansiyeli barındırmaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %2

Kaynaklar

- [1] Onlinefilament, Filament nedir? filament çeşitleri nelerdir?, https://www.onlinefilament.com/blog/icerik/filament-nedir-filament-cesitleri-nelerdir?srltid=AffmBOoqDV_DP5ac07caSfEk7Q5MoOmg-QaiP90Z1SB3IKaZJW4575MYB, Erişim 3 Kasım 2024.
- [2] R. Narain, Polymer Science and Nanotechnology: Fundamentals and Applications. Elsevier, Amsterdam 2020.
- [3] Y. Kuruoğlu, M. Akgün, H. Demir, FDM yöntemiyle üretilen ABS, PLA ve PETG numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve çekme dayanımının modellenmesi ve optimizasyonu. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry 6(3), 358-369, 2022. <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1148923>.
- [4] M.S. Kamer, Ş. Temiz, H. Yaykaşlı, A. Kaya, 3 Boyutlu yazıcı ile farklı renklerde ve farklı dolgu desenlerinde üretilen çekme test numunelerinin mekanik özelliklerinin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 26(3), 829-848, 2021. <https://doi.org/10.17482/uumfd.887786>.
- [5] J.B. Soares, J. Finamor, F.P. Silva, L. Roldo, L.H. Cândido, Analysis of the influence of polylactic acid (PLA) colour on FDM 3D printing temperature and part finishing. Rapid Prototyping Journal 24(8), 1305-1316, 2018. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2017-0177>.
- [6] A.P. Valerga, M. Batista, J. Salguero, F. Girot, Influence of PLA filament conditions on characteristics of FDM parts. Materials 11(8), 1322, 2018. <https://doi.org/10.3390/ma11081322>.
- [7] M.M. Hanon, L. Zsidai, Comprehending the role of process parameters and filament color on the structure and tribological performance of 3D printed PLA. Journal of materials research and technology 15, 647-660, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.061>.
- [8] I. Tamaşag, C. Suci, I. Beşliu-Băncescu, C. Dulucheanu, D.-A. Cerlincă, Experimental study on the possibilities of FDM direct colour printing and its implications on mechanical properties and surface quality of the resulting parts. Polymers 14(23), 5173, 2022. <https://doi.org/10.3390/polym14235173>.
- [9] R. Hamid, N. Marnyi, F. Hamezah, T. Ito, S. Linke, Effect of different PLA filament colours and process parameters towards the tensile strength of 3d printed parts. Proceedings of Malaysian Technical Universities Conference on Engineering and Technology (MUCET), 168-169, 2021.
- [10] D. Frunzaverde, V. Cojocar, N. Bacescu, C.-R. Ciubotariu, C.-O. Miclosina, R.R. Turian, G. Marginean, The influence of the layer height and the filament color on the dimensional accuracy and the tensile strength of FDM-printed PLA specimens. Polymers 15(10), 2377, 2023. <https://doi.org/10.3390/polym15102377>.
- [11] A. Pandžić, D. Hodžić, A. Milovanović, Influence of material colour on mechanical properties of PLA material in FDM technology. Proceedings of the 30th DAAAM International Symposium, DAAAM International, 555-561, 2019. <https://doi.org/10.2507/30th.daaam.proceedings.075>.
- [12] M. Aydın, F. Yıldırım, E. Çantı, Farklı yazdırma parametrelerinde PLA filamentin işlem performansının incelenmesi. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry 3(2), 102-115, 2019.
- [13] A. Nergizhan, O. Koçar, C. Altuok, Investigation of the weldability of PLA Plus sheets with different infill ratios by friction stir welding. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 1-1, 282-296, 2024. <https://doi.org/10.29109/gujsc.1399512>.
- [14] eSUN, PLA Plus, https://www.esun3d.com/uploads/eSUN_PLA+-Filament_TDS_V4.0.pdf, Erişim 1 Kasım 2024.
- [15] G. Gao, F. Xu, J. Xu, Z. Liu, Study of material color influences on mechanical characteristics of fused deposition modeling parts. Materials, 15(19), 7039, 2022. <https://doi.org/10.3390/ma15197039>.
- [16] C. Aydemir, S. Yenidoğan, A. Karademir, E. Arman, Effects of color mixing components on offset ink and printing process. Materials and Manufacturing Processes, 32(11), 1310-1315, 2017. <https://doi.org/10.1080/10426914.2017.1279323>.
- [17] C. Aydemir, The effect of paper roughness on print color deviation, lightfastness and print gloss. Marmara Journal of Pure and Applied Sciences, 26(3), 97-107, 2014. <https://doi.org/10.7240/mufbed.86137>.
- [18] L.W. McKeen, The Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers, William Andrew 2021.
- [19] Korozyon Doktoru, Parlaklık (Gloss) nedir?. <https://www.korozyondoktoru.org/parlaklik-gloss-nedir-nasil-olculur-parlaklik-seviyeleri-nelerdir/>, Erişim 05 Aralık 2024.
- [20] Sculupeto, Food grade PA12 (blue). <http://www.sculpteo.com/en/materials/sls-material/food-grade-pa12-blue/>, Erişim 25 Mart 2025.
- [21] Prusa3D, Do coloring additives affect filament material properties?. <https://forum.prusa3d.com/forum/english->

- [forum-general-discussion-announcements-and-rel-eases/do-coloring-additives-affect-filament-material-properties/](#), Erişim 26 Mart 2025.
- [22] B. Wittbrodt, J.M. Pearce, The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components, Additive Manufacturing, 8, 110-116, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.09.006>.
- [23] Intertek, Optical properties of polymers, <https://www.intertek.com/polymers-plastics/optical-properties/>, Erişim 5 Ağustos 2024.
- [24] Plasma Plastik, Plastiklerin seçim kriterleri. <https://plasmaplastik.com/blog/plastiklerin-secim-kriterleri>, Erişim 17 Nisan 2024.
- [25] D. Šarić, A.S. Sole, Visually significant dimensions and parameters for gloss, Journal of Imaging 10(1), 10, 2023. <https://doi.org/10.3390/jimaging10010010>.
- [26] J. Gim, E. Han, B. Rhee, W. Friesenbichler, D.P. Gruber, Causes of the gloss transition defect on high-gloss injection-molded surfaces. Polymers, 12(9), 2100, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12092100>.
- [27] Q. Yong, J. Chang, Q. Liu, F. Jiang, D. Wei, H. Li, Matt polyurethane coating: correlation of surface roughness on measurement length and gloss. Polymers, 12(2), 326, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12020326>

