



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.09.2021
Kabul Tarihi : 25.10.2021

Received Date : 18.09.2021
Accepted Date : 25.10.2021

3 BOYUTLU YAZICIDA ABS VE PLA FİLAMENLER İLE FARKLI TABLA VE NOZUL SICAKLIKLARI KULLANILARAK ÜRETİLEN ÇEKME TEST NUMUNELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF TENSILE TEST SAMPLES PRODUCED WITH A 3D PRINTER USING DIFFERENT BED AND NOZZLE TEMPERATURES WITH ABS AND PLA FILAMENTS

Muhammed Safa KAMER^{1*} (ORCID: 0000-0003-3852-1031)

Şemsettin TEMİZ² (ORCID: 0000-0002-6737-3720)

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, msafakamer@ksu.edu.tr
² İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, semsettin.temiz@inonu.edu.tr

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Muhammed Safa KAMER, msafakamer@ksu.edu.tr

ÖZET

3B yazıcı ile üretilen ürünlerin çeşitli parametrelere göre mekanik özelliklerinin tespit edilmesi, bu ürünlerin kullanılacakları yerlere göre üretim parametrelerinin seçilebilmesi açısından önem kazanmaktadır. Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3B yazıcıda ABS (Akrilonitril Bütadien Stiren) ve PLA (Polilaktik Asit) malzeme ile farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak çekme test numuneleri üretilmiştir. Tabla ve nozul sıcaklıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretilen numunelerin kütleleri, sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve üretilen numunelere çekme testi yapılmıştır. 3B yazıcı ile üretilen çekme numunelerinin boyutlandırılmasında ASTM D638-14 standardı kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda ABS ve PLA malzemelerin her ikisinde de farklı tabla sıcaklıklarının kütle, sertlik, yüzey pürüzlülüğü, çekme dayanımı ve uzama bakımından çok fazla bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca ABS ve PLA malzemelerle üretilen çekme numunelerinde nozul sıcaklığının düşmesiyle kütle, üst yüzey sertlik ve çekme dayanımı değerlerinin azaldığı, aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin arttığı, alt yüzey sertlik ve uzama değerlerinde ise kayda değer bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 boyutlu (3B) yazıcı, eriyik yığıma modelleme (EYM), çekme testi, sertlik ve pürüzlülük ölçümleri, yazdırma sıcaklığı.

ABSTRACT

It gains importance to determine, the mechanical properties of the products produced with 3D printer according to various parameters, in terms of choosing the production parameters according to the places where these products will be used. In this study; tensile test specimens have been produced on the Ultimaker 2 Extended 3D-printer with ABS and PLA material using different bed and nozzle temperatures. The effects of bed and nozzle temperatures on mechanical properties have been investigated. Masses, hardness, surface roughness of the produced samples have been measured and tensile test has been performed on the produced samples. The ASTM D638-14 standard has been used for sizing the tensile specimens produced with 3D-printer. As a result of the tests, it has been determined that different bed temperatures did not have much effect in terms of mass, hardness, surface roughness, tensile strength and elongation in both ABS and PLA materials. In addition, it has been determined that the mass, upper surface hardness and tensile strength values decreased, the arithmetic average roughness values increased, and there was no significant change in the lower surface hardness and elongation values with the decrease of nozzle temperature in the tensile samples produced with ABS and PLA materials.

ToCite: KAMER, M.S., & TEMİZ, Ş., (2021). 3 BOYUTLU YAZICIDA ABS VE PLA FİLAMENLER İLE FARKLI TABLA VE NOZUL SICAKLIKLARI KULLANILARAK ÜRETİLEN ÇEKME TEST NUMUNELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 341-358.

Keywords: 3 dimensional (3D) printer, fused deposition modeling (FDM), tensile test, hardness and roughness measurements, printing temperature.

GİRİŞ

3B yazıcı ile çeşitli ürünlerin üretilmesi sırasında birçok parametre yer almaktadır. Bu parametrelerin değiştirilmesi ile üretim maliyetleri ve üretim süresi azaltılabilirken, üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinde de değişimler yaşanmaktadır. Bu nedenle 3B yazıcı ile üretilen ürünlerin çeşitli parametrelere göre mekanik özelliklerinin tespit edilmesi, bu ürünlerin kullanılacakları yerlere göre üretim parametrelerinin seçilebilmesi açısından önem kazanmaktadır. 3B yazıcı ile üretilen ürünlerin çeşitli parametrelere göre mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almakta olup, bunlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Andó vd. (2021) EYM teknolojisi ile üretilen farklı renklerde PLA'dan yapılan parçaların, ara yüzey yapışma özelliklerini araştırmışlardır. Farklı temas yüzey türleri ile hazırladıkları test numunelerini önce yapıştırmışlar sonra da çekme testi uygulamışlardır. EYM numuneleri yapıştırmada dikey yapışma ve yatay yapışma olarak iki farklı yöntem kullanmışlardır. Dikey yapışmanın her zaman yatay yapışmadan daha zayıf olduğunu tespit etmişlerdir. Solmaz & Çelik (2018) 3B 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 vd. (2018) 3B EYM yöntemiyle çalışan yazıcı kullanarak yeni tip eğrisel evolvent profilli dişli üretmişler ve üretilen dişliler üzerinde geometrik ölçümler yaparak bu üretim yönteminin doğruluk değerlerini belirlemişlerdir. 3B 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.

3B yazıcılarla üretilecek ürünlerin kalitesini artırmak amacıyla çeşitli optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Aslan & Yıldız (2020) otomobillerde stabiliteyi sağlamak için bir süspansiyon kolu üzerinde topoloji optimizasyonu yapmışlardır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak geliştirdikleri modellerin statik analizini yapmışlardır. Sonuçları, modelin ilk tasarımı ile karşılaştırmışlardır. Topoloji ve kafes yapısı optimizasyonundan sonra, karmaşık modeller üretmek için eklemeli imalat (3B yazıcı) kullanmışlardır. Karşılaştırma sonucunda olumlu sonuçlar elde etmişler ve araç elemanlarının tasarımında topoloji optimizasyonu ve kafes yapısal optimizasyonun kullanılabilirliğini göstermişlerdir. Yaman (2019), EYM 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. Yaman vd. (2016) yapılandırılmış, homojen olmayan bir içyapıya sahip yapay ağların 3B baskıları hakkında rapor hazırlamışlardır. Hareket sayısı baskı süresini ve yazdırılan ürünün kalitesini doğrudan etkilediğinden, malzeme bırakmayan yazıcı kafası hareketlerinin ve hızlı seyahatlerin ortadan kaldırılması çalışmalarının amacı olmuştur. Böylece aynı zamanda G-kodu dosya boyutlarının da azalmasını hedeflemişlerdir.

3B yazıcılarla üretilen ürünlerdeki büzülme problemlerini önlemek ve boyutsal doğruluğu sağlamak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Dilberoglu vd. (2019) EYM yöntemiyle üretim yapılan 3B yazıcılarla üretilen parçaların büzülme sorunlarını çözmeyi ve boyutsal doğruluğu iyileştirmeyi hedeflemişlerdir. Deliklerin/yuvaların boyutsal doğruluğundaki bozulmayı önlemek için delik çevresinden ürünün dış sınırlarına kadar yer alan yardımcı hatlardan yararlanmışlardır. Ayrıca üretilen ürünler üzerinden gerekli ölçümler alınarak, yeni üretilecek numunelerin büzülme davranışlarını tahmin edebilmek için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yaman (2018) EYM süreci kullanarak masaüstü 3B yazıcılarla üretilen ürünlerin deliklerindeki büzülmeyi telafi edecek bir iç tasarım metodolojisi geliştirmiştir. Önerdiği yöntemle, ürünlerin geometrik özelliklerine göre deliklerdeki büzülmeyi telafi etmek için çeşitli içyapılar inşa edilmesini öngörmüştür. Sonuç olarak, deliğin boyutsal doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirmiştir.

3B yazıcılarla üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin çeşitlendirilmesi amacıyla katkılı filamentler kullanılarak araştırmalar yapılmıştır. Roj vd. (2020) EYM ile üretilen, 16 malzemeden yapılmış, üç yönde basılmış çekme numunelerini basınçla kalıplanmış bileşenlerle karşılaştırmışlardır. Sıradan filamentlere ek olarak metal, karbon, ahşap ve taş katkılı kompozit malzemeleri de araştırmışlardır. Sonuç olarak, mekanik özelliklerin bileşenlerin yoğunluklarına bağlı olduğu hipotezini desteklediğini belirlemişlerdir. Uzun & Erdogdu (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.

3B yazıcılarla üretilen ürünlerde çeşitli dolgu deseni çalışmaları yapılmıştır. Torun vd. (2021) gyroid desenli 3B yazdırılmış PLA numunelerinin kırılma tokluğuna çeşitli doluluk oranlarının etkilerini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. İki boyutlu sonlu eleman modellemesi oluşturmuşlar ve çeşitli doluluk oranlarında gyroid PLA numunelerinin gerilme yoğunluk katsayılarının iki boyutlu fonksiyonlarını çıkarmışlardır. Numunelerin çekme modundaki kırılma tokluğu miktarının, kesme modundaki değerlerden çok daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, numunelerdeki doluluk oranlarının yüzdeleri arttıkça hem çekme hem de kesme kırılma tokluğunun arttığını tespit etmişlerdir. Yaman vd. (2019), farklı eklemeli üretim yöntemlerinde desenli girintiler oluşturmak için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Mevcut yöntemlerle üretim yapan 3B yazıcılarda desenli üretimler yapabilmek için tasarımda oluşturulacak girintiler, tasarım dosyalarının boyutunu önemli ölçüde artırmaktadır. Bu çalışmayla önerilen yöntemde basılı ürünün enine kesitlerini temsil eden bir dizi ikili görüntü üzerinde morfolojik işlemler kullanarak, dokulu nesnelere üretirken bu tür sorunların üstesinden gelmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca önerdikleri yöntemin, hemen hemen her 3B yazıcının mevcut donanımlarının kullanılarak uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

3B yazıcılarla üretilen ürünlerin mekanik mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli sıcaklık değerleri kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmında nozul ve tabla sıcaklıkları değiştirilmiş, bir kısmında ise yazdırılan ürünlere farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde ısıl işlem uygulanmıştır. Gupta vd. (2021) sabit 3B baskı parametreleri ve ortam koşulları ile EYM 3B baskılı PLA parçalarının mekanik mukavemeti üzerinde ısıl işlemin etkisini araştırmışlardır. Her numune setini belirli bir sıcaklıkta 1 saat boyunca ısıl işlemden geçirmişler ve fırının kendisinde soğutulurken, bir dizi numuneyi işlenmeden bırakmışlardır. Maksimum 110 °C ısıl işlemde ve 65 °C yeniden kristalleşme sıcaklığının altında mekanik özelliklerin %4,88 ila %10,26 oranında iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Schirmeister vd. (2019) 3B yazıcı ile HDPE (high density polyethylene – yüksek yoğunluklu polietilen) malzeme kullanılarak üretilen parçaların Young modülünü, çekme mukavemetini ve yüzey kalitesini iyileştirmeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla nozul çapı, nozul sıcaklığı, yazdırma hızı, yazdırma tablası sıcaklığı ve yazdırma tablası malzemesi gibi 3B yazdırma parametrelerini değiştirerek test numuneleri üretmişlerdir. Nozul çapı ve yazdırma hızının yüzey kalitesini etkilediğini ancak mekanik özellikleri etkilemediğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3B yazıcıda ABS ve PLA malzeme ile farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak çekme test numuneleri üretilmiştir. Tabla ve nozul sıcaklıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Sonuçlar sadece gerilme-şekil değiştirme grafikleriyle bırakılmamış olup, tabla ve nozul sıcaklıklarının değişimiyle malzemedeki kütle değişimleri, sertlik değişimleri ve yüzey pürüzlülüğü değişimleri ayrı ayrı incelenmiş ve üretilen numunelere çekme testi yapılmıştır. Belirtilen değişkenlerin birbiri arasındaki ilişkiler de detaylı bir biçimde ele alınmıştır.

MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında çekme test numunelerinin üretiminde “Ultimaker 2 Extended” (The Ultimaker 2 Extended specifications, 2020; The Ultimaker 2 Extended user manual, 2020) 3B yazıcı kullanılmıştır (Şekil 1). Ultimaker 2 Extended 3B yazıcı teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

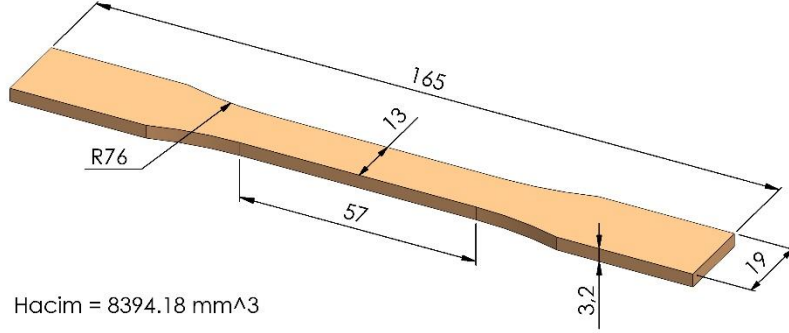


Şekil 1. Test Numunelerinin Üretiminde Kullanılan Ultimaker 2 Extended 3B Yazıcı

Tablo 1. Ultimaker 2 Extended 3B Yazıcı Teknik Özellikleri

| Baskı | |
|----------------------------------|--|
| Baskı teknolojisi | - FFF / FDM (Fused Filament Fabrication / Fused Deposition Modeling) Erimiş Filament Üretimi / Erimiş Yığma Modellemesi |
| Baskı hacmi X/Y/Z | - Eksenler (X/Y/Z) Kartezyen koordinat sisteminde hareket etmektedir 223 mm / 223 mm / 305 mm |
| Katman çözünürlüğü | X/Y eksen hareketlerinde triger kayış-kasnak, Z eksen hareketinde vidalı mil kullanılmaktadır |
| Konumlandırma hassasiyeti X/Y/Z | 200 mikron (0.2 mm) – 40 mikron (0.04 mm) |
| Filament çapı | 12.5 mikron / 12.5 mikron / 5 mikron |
| Nozul çapı | 2.85 mm |
| Yazdırma hızı | 0.8 mm – 0.6 mm - 0.4 mm – 0.25 mm |
| Boşta gezme hızı | 30 mm/s - 300 mm/s |
| Baskı yüzeyi | 30 mm/s - 350 mm/s |
| Filament türleri | Cam tabla PLA / ABS / CPE |
| Bilgisayar yazılımı | |
| Birlikte verilen yazılım | Cura - Resmi Ultimaker Yazılımı |
| Dosya türleri | STL / OBJ / DAE / AMF |
| Desteklenen işletim sistemi | Windows / Mac / Linux |
| Dosya aktarımı | Bağımsız SD kart baskısı |
| Elektrik | |
| AC girişi | 100 - 240 V, Yaklaşık 1.4 A, 50 - 60 Hz, Maks. 221 Watt |
| Bağlantı | Bağımsız SD kart baskısı |
| Fiziksel boyutlar | |
| Masaüstü alanı L/W/H | 357 mm / 342 mm / 488 mm |
| Nakliye boyutları L/W/H | 400 mm / 400 mm / 650 mm |
| Ağırlık | 12.0 kg |
| Nakliye ağırlığı | 21.0 kg |
| Sıcaklık | |
| Ortam çalışma sıcaklığı | 15 - 32 °C |
| Depolama sıcaklığı | 0 - 32 °C |
| Nozul çalışma sıcaklığı | 180 - 260 °C |
| Isıtmalı tabla çalışma sıcaklığı | 50 - 100 °C |
| Ses | |
| Ortalama işletme gürültüsü | 49 dBA |

Çekme test numunelerinin boyutlandırılmasında ASTM D638-14 standardı (ASTM D638-14, 2014) kullanılmıştır. Belirtilen standart ölçülerindeki çekme test numunesi 3B olarak bilgisayar ortamında SolidWorks CAD yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. ASTM D638-14 Standardı Tip I

Üretilen çekme numunelerinin kütleleri, sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve numunelere çekme testi yapılmıştır. Kütle ölçümleri KERN PLS 6200-2A (kapasite: 6200g, 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 2’de verilen parametrelerde yapılmıştır. Her numunenin üst yüzeyinden ölçümler alınmıştır. Pürüzlülük cihazı üst yüzeyde yığıma 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 standardı kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Parametreleri

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



Şekil 3. Yığıma Yönüne 90° Açılı Pürüzlülük Ölçüm Görüntüsü

Kullanılan filament (ABS filament ve PLA filament), yazdırma nozul ve tabla sıcaklıkları değiştirilerek ABS malzemede 5 farklı nozul sıcaklığı (80°C sabit tabla sıcaklığında; 260°C, 250°C, 240°C, 230°C, 220°C) ve 6 farklı tabla sıcaklığı (260°C sabit nozul sıcaklığında; 80°C, 70°C, 60°C, 50°C, 40°C, 30°C), PLA malzemede ise 6 farklı nozul sıcaklığı (60°C sabit tabla sıcaklığında; 240°C, 230°C, 220°C, 210°C, 200°C, 190°C) ve 4 farklı tabla sıcaklığı (240°C sabit nozul sıcaklığında; 60°C, 50°C, 40°C, 30°C) kullanılarak çekme test numuneleri üretilmiştir. Her farklı parametre için üçer adet olacak şekilde, ABS malzeme ile 30 adet ve PLA malzeme ile 27 adet test numunesi üretilmiştir.

SolidWorks CAD yazılımı ile 3B olarak tasarımı yapılan çekme test numunesinin G-kodlarının oluşturulmasında Ultimaker markasının kendi yazılımı olan Cura CAM yazılımı kullanılmıştır. Tasarımın yazıcı tablası üzerindeki konumu, açısı vb. ayarlar yapıldıktan sonra Tablo 3’de belirtilen parametreler seçilerek tasarımın G-kodları oluşturulmuştur. Oluşturulan G-kodları SD kart yardımıyla 3B yazıcıya aktarılmıştır.

Tablo 3. 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 (+45°/-45° her katmanda değişmektedir) |
| Yazdırma hızı | 60 mm/s |
| Boşta gezme hızı | 120mm/s |

ABS malzeme ile çekme test numunesi üretimi için 3B yazıcının yazdırma tablasının kalibrasyonu yapılmıştır. 3B yazıcıya Ultimaker marka ABS malzeme (Ultimaker ABS SDS, 2020; Ultimaker ABS TDS, 2020) takılmıştır. 3B yazıcının yazdırma tabla ve nozul sıcaklığı yukarıda belirtilen değerlere ayarlanmıştır.

PLA malzeme ile çekme test numunesi üretimi için 3B yazıcının yazdırma tablasının kalibrasyonu yapılmıştır. 3B yazıcıya Ultimaker marka PLA malzeme (Ultimaker PLA SDS, 2020; Ultimaker PLA TDS, 2020) takılmıştır. 3B yazıcının yazdırma tabla ve nozul sıcaklığı yukarıda belirtilen değerlere ayarlanmıştır.

Çekme test numunelerinin üretim işleminden önce, üretim sırasında numunenin ilk katmanının yazdırma tablasına yapışmasını sağlamak için yazdırma tablası üzerine stick yapıştırıcı (Uhu Stic Magic Blue) sürülmüştür.

ABS ve PLA filamentler 3B yazıcıda kullanıldıktan sonra tekrar paketlenmekte ve paketlerin içerisine nem alıcılar yerleştirilerek muhafaza edilmektedir. Ultimaker 2 Extended 3B yazıcıda filament ve üretilen ürün atmosfere açık ortamda olduğundan, filamentlerin ve üretilen numunelerin sadece 3B yazıcıda kullanılırken nem almaları söz konusu olabilecektir. Filamentlerin ve üretilen numunelerin tümü aynı şartlarda üretildiğinden, üretilen ürünlerin nem alma durumları bu çalışmada ihmal edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3B yazıcıda ABS ve PLA malzeme ile farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak çekme test numuneleri üretilmiştir. Tabla ve nozul sıcaklıklarındaki değişimin mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak ABS malzeme ile üretilen çekme test numunelerine ait kütle, sertlik ve pürüzlülük değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Tabla sıcaklığının azalmasıyla üst yüzey sertlik değerlerinin ve aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin değişmediği, kütle ve alt yüzey sertlik değerlerinde ise 50~80 °C tabla sıcaklıkları arasında kayda değer bir değişimin olmadığı, 40 °C ve 30 °C tabla sıcaklıklarında ise kütle ve alt yüzey sertlik değerlerinin giderek azaldığı belirlenmiştir. ABS malzeme ile 40 °C ve 30 °C tabla sıcaklıkları ile yapılan üretimlerde, üretilen ürünün yazdırma işlemi sırasında yazdırma tablası üzerinden ayrılarak nozula doğru hareket eğiliminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4a, Şekil 4b). ABS malzemenin yazdırma işlemi sırasında nozula doğru olan hareketi, nozuldan çıkması gereken malzemeyi engellemeye yol açmakta olup, bu durum belirtilen tabla sıcaklıkları ile üretilen ürünlerin kütlelerinde ve alt yüzey sertlik değerlerinde azalmaya neden olmuştur.

ABS malzeme ile üretilen ürünlerde nozul sıcaklığının azalmasıyla kütle ve üst yüzey sertlik değerleri azalırken, aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Alt yüzey sertlik değerlerinde ise 230~260 °C nozul sıcaklıkları arasında kayda değer bir değişimin olmadığı, 220 °C nozul sıcaklığında ise alt yüzey sertlik değerinin de azaldığı gözlenmiştir.

Tablo 4. ABS Filament İle Farklı Tabla Ve Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numuneleri İçin Ölçümlerden Elde Edilen Veriler

| Filament Türü | Nozul Sıcaklığı (°C) | Tabla Sıcaklığı (°C) | Kütle (g) | Shore D Sertlik Değerleri | | Aritmetik Ortalama Pürüzlülük Ra (µm) |
|---------------|----------------------|----------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------------------|
| | | | | Üst Yüzey | Alt Yüzey | |
| ABS | 260 | 80 | 8,78 | 56,9 | 71,0 | 5,607 |
| ABS | 260 | 70 | 8,81 | 58,2 | 70,9 | 5,873 |
| ABS | 260 | 60 | 8,75 | 54,4 | 73,2 | 5,587 |
| ABS | 260 | 50 | 8,65 | 54,4 | 71,4 | 5,122 |
| ABS | 260 | 40 | 8,57 | 56,1 | 67,2 | 5,272 |
| ABS | 260 | 30 | 8,02 | 58,8 | 59,6 | 5,769 |
| ABS | 260 | 80 | 8,78 | 56,9 | 71,0 | 5,607 |
| ABS | 250 | 80 | 8,71 | 54,3 | 73,3 | 7,014 |
| ABS | 240 | 80 | 8,58 | 51,8 | 72,3 | 9,705 |
| ABS | 230 | 80 | 8,38 | 50,2 | 73,7 | 10,361 |
| ABS | 220 | 80 | 8,03 | 46,3 | 63,1 | 12,428 |

Farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak PLA malzeme ile üretilen çekme test numunelerine ait kütle, sertlik ve pürüzlülük değerleri Tablo 5’de verilmiştir. Tabla sıcaklığının azalmasıyla kütle, sertlik ve aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinde kayda değer bir değişimin olmadığı belirlenmiştir.

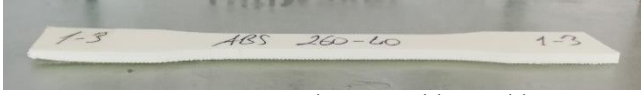
PLA malzeme ile üretilen ürünlerde nozul sıcaklığının azalmasıyla 210~240 °C nozul sıcaklıkları arasında kütle ve üst yüzey sertlik değerleri azalırken, aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. PLA malzeme ile 190 °C ve 200 °C nozul sıcaklıklarında üretilen ürünlerde çok fazla katman içi boşlukların oluştuğu, üretim sırasında PLA malzemenin nozuldan çıkmakta zorlandığı gözlenmiştir (Şekil 4c, Şekil 4d). Bu nedenle PLA malzeme ile 190 °C ve 200 °C nozul sıcaklıklarında üretilen ürünlerden elde edilen veriler değerlendirmeye alınmamıştır. Alt yüzey sertlik değerlerinde ise 220~240 °C nozul sıcaklıkları arasında kayda değer bir değişimin olmadığı, 210 °C nozul sıcaklığında ise alt yüzey sertlik değerinin de azaldığı gözlenmiştir.

Tablo 5. PLA Filament İle Farklı Tabla Ve Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numuneleri İçin Ölçümlerden Elde Edilen Veriler

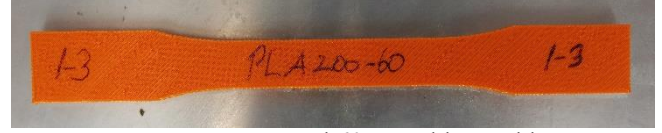
| Filament Türü | Nozul Sıcaklığı (°C) | Tabla Sıcaklığı (°C) | Kütle (g) | Shore D Sertlik Değerleri | | Aritmetik Ortalama Pürüzlülük Ra (µm) |
|---------------|----------------------|----------------------|-----------|---------------------------|-----------|---------------------------------------|
| | | | | Üst Yüzey | Alt Yüzey | |
| PLA | 240 | 60 | 9,29 | 55,7 | 73,9 | 8,520 |
| PLA | 240 | 50 | 9,30 | 54,0 | 72,6 | 9,346 |
| PLA | 240 | 40 | 9,28 | 52,0 | 76,9 | 9,471 |
| PLA | 240 | 30 | 9,20 | 46,8 | 78,8 | 10,316 |
| PLA | 240 | 60 | 9,29 | 55,7 | 73,9 | 8,520 |
| PLA | 230 | 60 | 8,98 | 49,3 | 71,5 | 11,188 |
| PLA | 220 | 60 | 8,67 | 48,3 | 73,9 | 14,080 |
| PLA | 210 | 60 | 7,95 | 44,8 | 62,8 | 16,320 |
| PLA | 200 | 60 | 6,42 | 52,4 | 63,1 | 17,769 |
| PLA | 190 | 60 | 3,76 | 52,2 | 64,8 | 17,061 |

Tüm numunelerin üretiminde yazdırma hızı sabit tutulmuş olup, nozul sıcaklığının değiştiği durum göz önüne alındığında, her iki malzeme için de nozul sıcaklığının azalmasıyla malzemelerin ergime miktarı azalacağından, nozuldan çıkan malzeme miktarı da benzer şekilde azalmaktadır. Bu durum nozul sıcaklığının azalmasıyla üretilen test numunelerinin kütlelerindeki azalma olarak karşımıza çıkmaktadır.

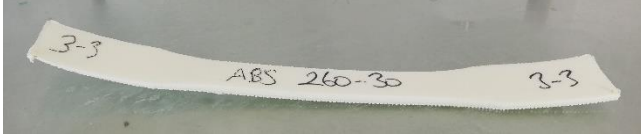
Farklı tabla ve nozul sıcaklıkları ile ABS ve PLA malzemeler kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin tümünde alt yüzey sertlik değerlerinin üst yüzey sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Literatürde de benzer sonuçlara rastlanmıştır (Aydın vd., 2019). Tabla sıcaklığının ve alt yüzey üzerinde kalan yapıştırıcı kalıntılarının alt yüzey sertlik değerlerini artırdığı düşünülmektedir.



a. ABS 260 °C Nozul 40 °C Tabla Sıcaklığı



c. PLA 200 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



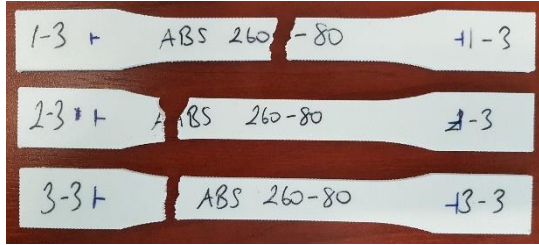
b. ABS 260 °C Nozul 30 °C Tabla Sıcaklığı



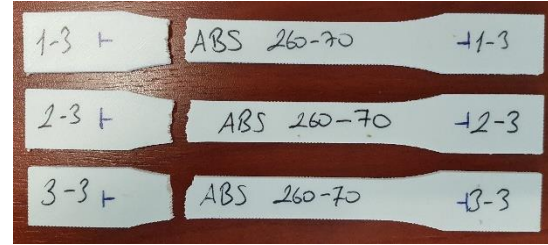
d. PLA 190 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı

Şekil 4. 3B Yazıcıda Ürün Yazdırılması Sonucunda Problem Oluştugu Gözlenen Numuneler

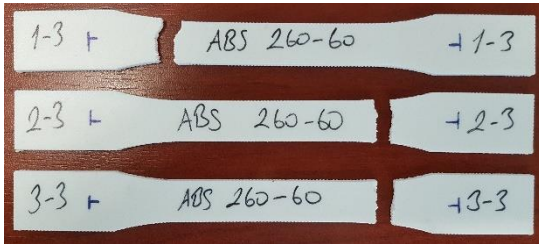
ABS malzeme kullanılarak farklı tabla ve nozul sıcaklıkları ile üretilen çekme test numunelerinin çekme testinden sonraki kopmuş görüntüleri Şekil 5 ve Şekil 6'de gösterilmiştir. Çekme test numunelerinin genel olarak en dar kesitte uç bölgelerden gevrek kırılma şeklinde kopmuş oldukları görülmektedir.



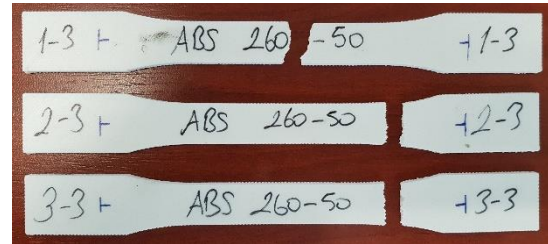
a. 260 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı



b. 260 °C Nozul 70 °C Tabla Sıcaklığı



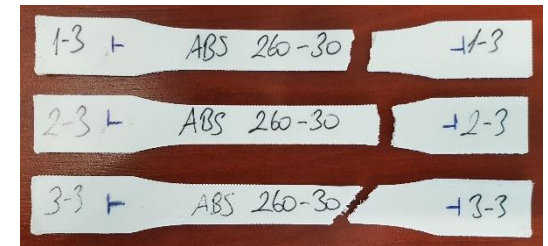
c. 260 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



d. 260 °C Nozul 50 °C Tabla Sıcaklığı



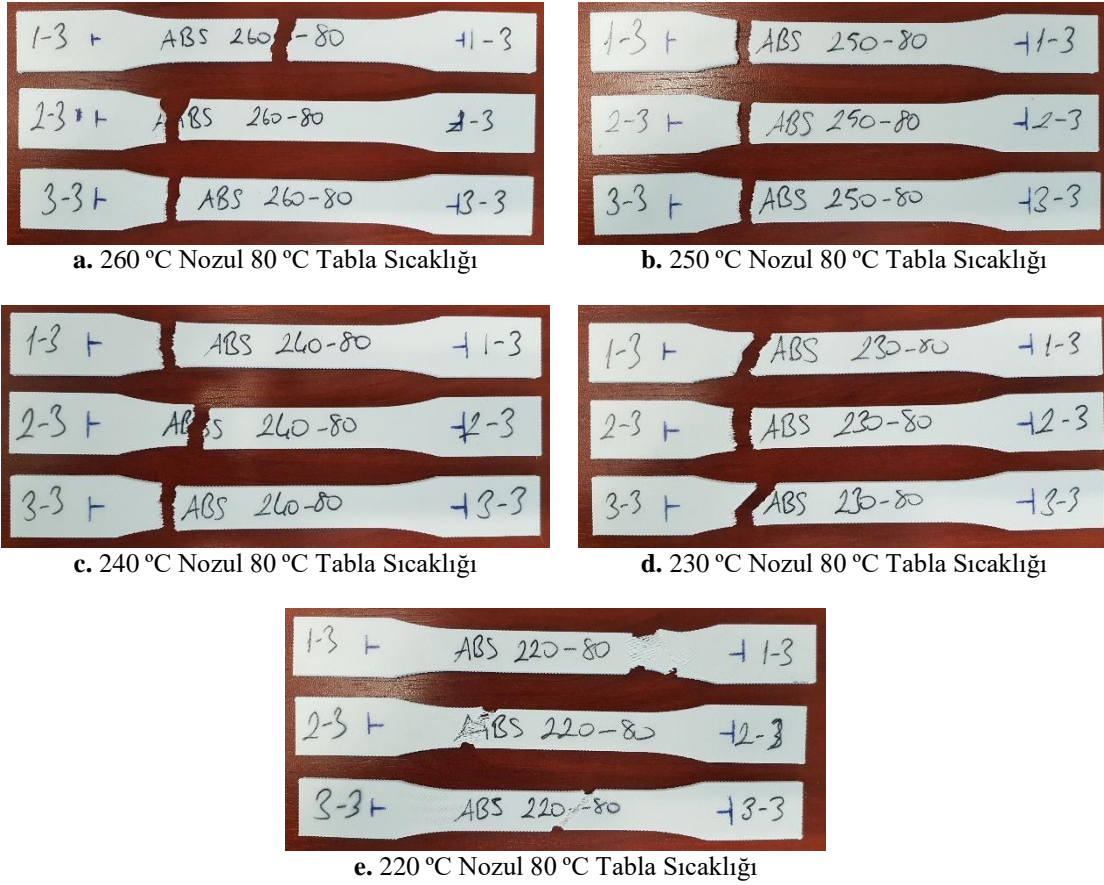
e. 260 °C Nozul 40 °C Tabla Sıcaklığı



f. 260 °C Nozul 30 °C Tabla Sıcaklığı

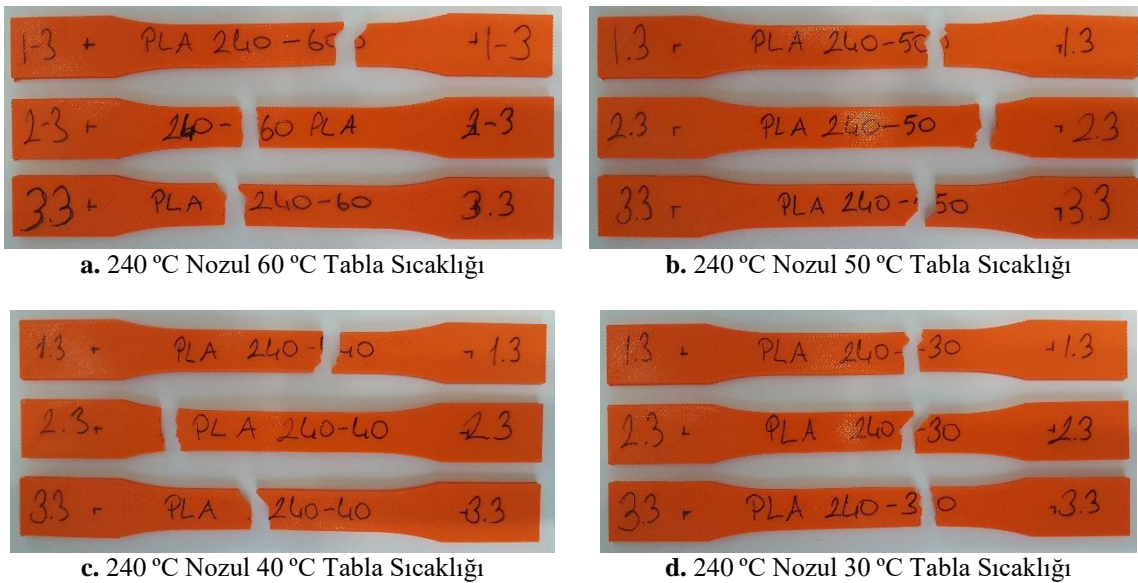
Şekil 5. ABS Filament İle Farklı Tabla Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numunelerinin Kopmuş Görüntüleri

220 °C nozul sıcaklığında üretilen ABS test numunelerinin katman içi bağlarının daha zayıf olduğu, bu nedenle bu numunelerin gevrek kırılma davranışı göstermeyip, sünek malzeme gibi davrandığı söylenebilir (Şekil 6e).



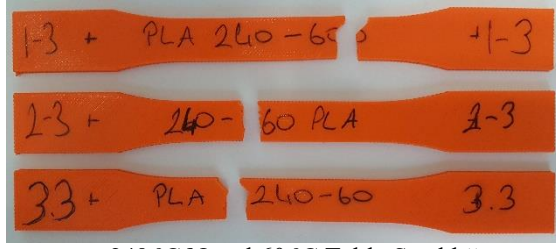
Şekil 6. ABS Filament İle Farklı Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numunelerinin Kopmuş Görüntüleri

PLA malzeme kullanılarak farklı tabla ve nozul sıcaklıkları ile üretilen çekme test numunelerinin çekme testinden sonraki kopmuş görüntüleri Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir. Çekme test numunelerinin genel olarak en dar kesitte orta bölgelerden gevrek kırılma şeklinde kopmuş oldukları görülmektedir.



Şekil 7. PLA Filament İle Farklı Tabla Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numunelerinin Kopmuş Görüntüleri

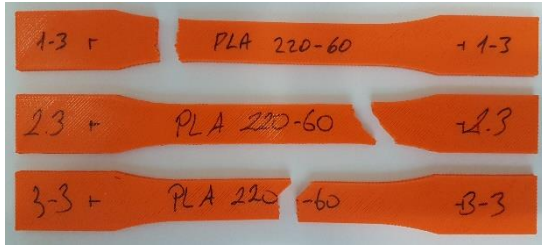
190 °C ve 200 °C nozul sıcaklıklarında üretilen PLA test numunelerinin katman içi bağlarının daha zayıf olduğu, bu nedenle bu numunelerin gevrek kırılma davranışı göstermeyip, sünek malzeme gibi davrandığı söylenebilir (Şekil 8e, Şekil 8f).



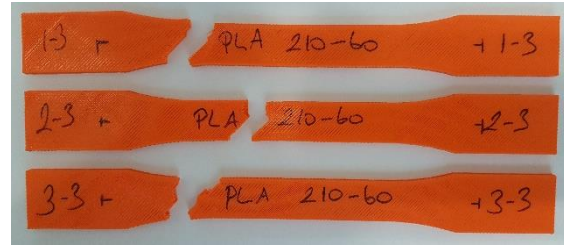
a. 240 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



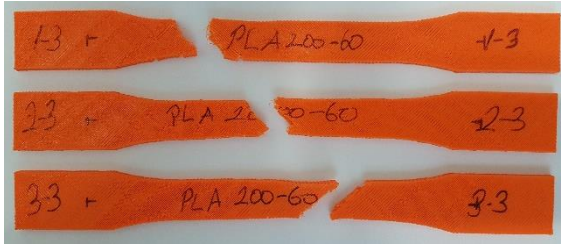
b. 230 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



c. 220 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



d. 210 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



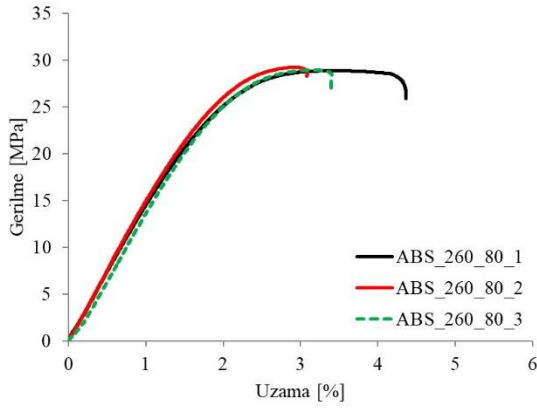
e. 200 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



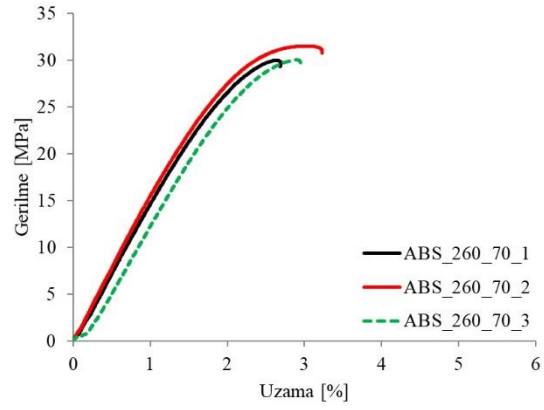
f. 190 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı

Şekil 8. PLA Filament İle Farklı Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numunelerinin Kopmuş Görüntüleri

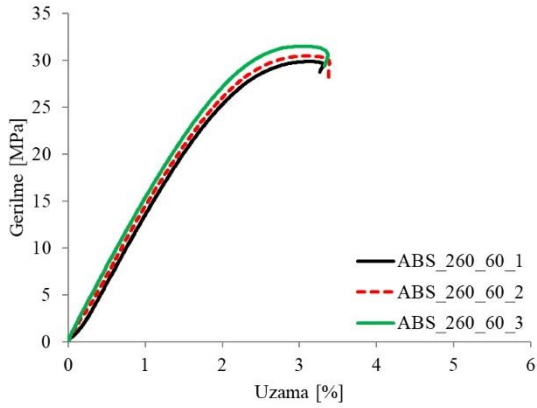
ABS filament ile farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak üçer adet çekme test numunesi üretilmiş olup, bu numunelere çekme testi uygulanmış ve her farklı tabla sıcaklığına ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 9'da verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde her bir tabla sıcaklığına ait eğrilerin kendi aralarında birbirlerine çok yakın oldukları söylenebilir. Bu grafikler arasında sadece 260 °C nozul 30 °C tabla sıcaklığına ait numunelerin eğrilerinden birinde kendi içinde farklılık olduğu gözlenmiştir. Bu tabla sıcaklığındaki numunelerde üretim sırasında yazdırma tablasından ayrılma problemlerinin yaşandığı ile ilgili açıklamalar yukarıda verilmiştir (Şekil 4b). Şekil 9'da verilen her bir grafik içerisinde gerilme ve uzama bakımından ortalama sayılabilecek olan eğriler seçilmiş olup, bu eğriler grafikler içerisinde kesikli olarak gösterilmiştir. Burada seçilen eğriler ABS malzemede farklı tabla sıcaklıklarının karşılaştırılabilmesi için tek bir grafikte birleştirilmiştir (Şekil 13a).



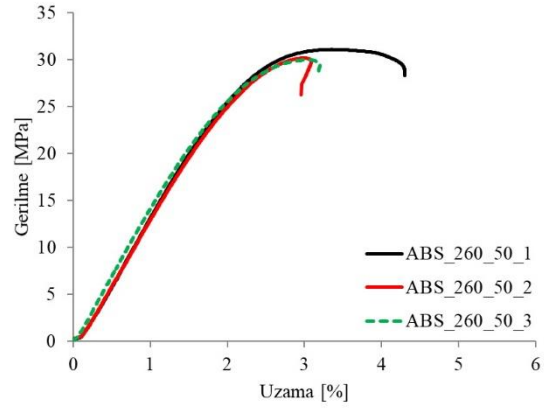
a. 260 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı



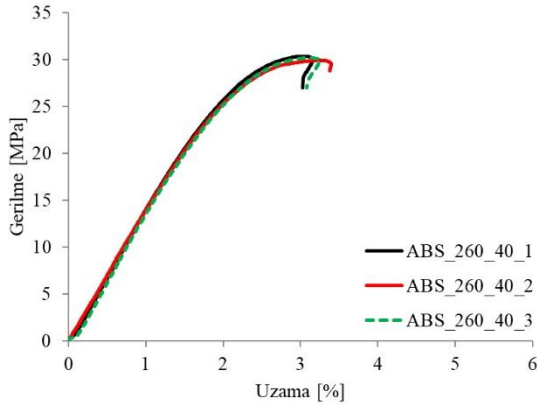
b. 260 °C Nozul 70 °C Tabla Sıcaklığı



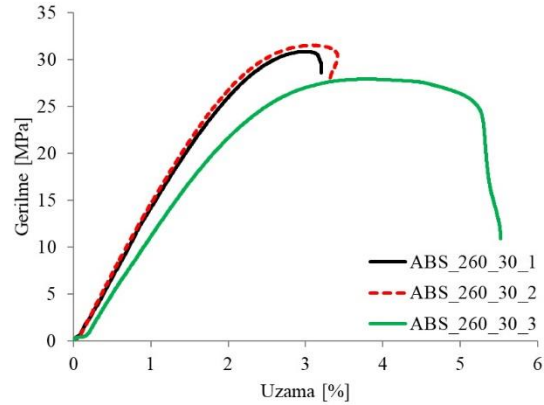
c. 260 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



d. 260 °C Nozul 50 °C Tabla Sıcaklığı



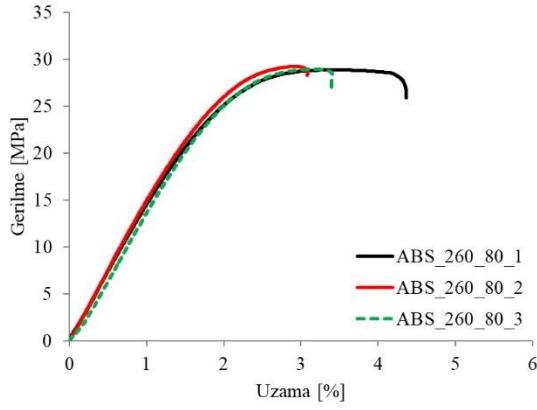
e. 260 °C Nozul 40 °C Tabla Sıcaklığı



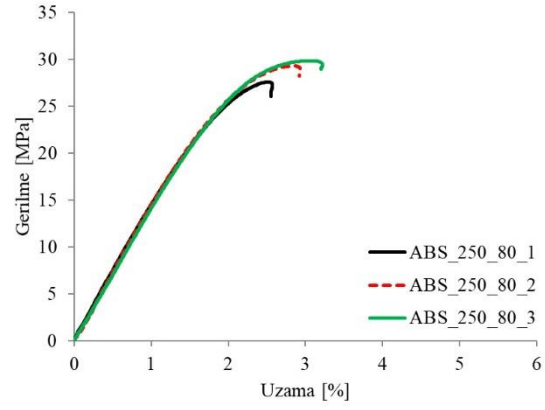
f. 260 °C Nozul 30 °C Tabla Sıcaklığı

Şekil 9. ABS Filament İle Farklı Tabla Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Çekme Test Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri

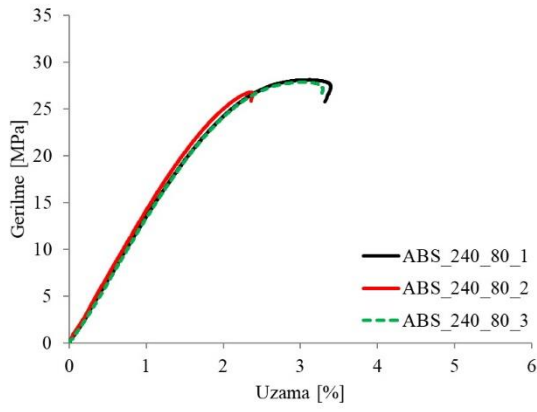
ABS filament ile farklı nozul sıcaklıkları kullanılarak üçer adet çekme test numunesi üretilmiş olup, bu numunelere çekme testi uygulanmış ve her farklı nozul sıcaklığına ait numunelerin gerilme-şekil değişirme eğrileri Şekil 10'de verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde her bir nozul sıcaklığına ait eğrilerin kendi aralarında birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir. Bu grafikler arasında sadece 220 °C nozul 80 °C tabla sıcaklığına ait numunelerin eğrilerinden birinde kendi içinde farklılık olduğu gözlenmiştir. Bu nozul sıcaklığındaki numunelerde katman için bağların daha zayıf olduğu ve bu numunelerin diğer numunelerden farklı olarak sünek malzeme gibi davrandığı ile ilgili açıklamalar yukarıda verilmiştir (Şekil 6e). Şekil 10'de verilen her bir grafik içerisinde gerilme ve uzama bakımından ortalama sayılabilecek olan eğriler seçilmiş olup, bu eğriler grafikler içerisinde kesikli olarak gösterilmiştir. Burada seçilen eğriler ABS malzemede farklı nozul sıcaklıklarının karşılaştırılabilmesi için tek bir grafikte birleştirilmiştir (Şekil 13b).



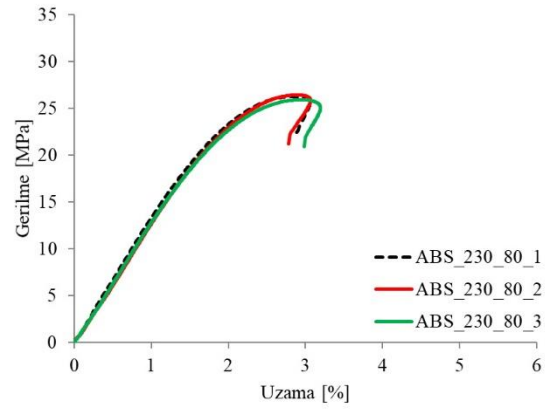
a. 260 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı



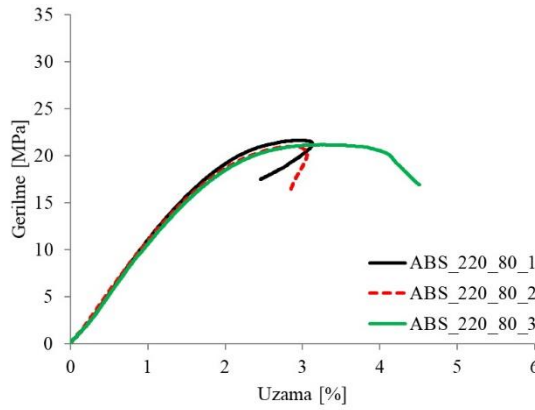
b. 250 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı



c. 240 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı



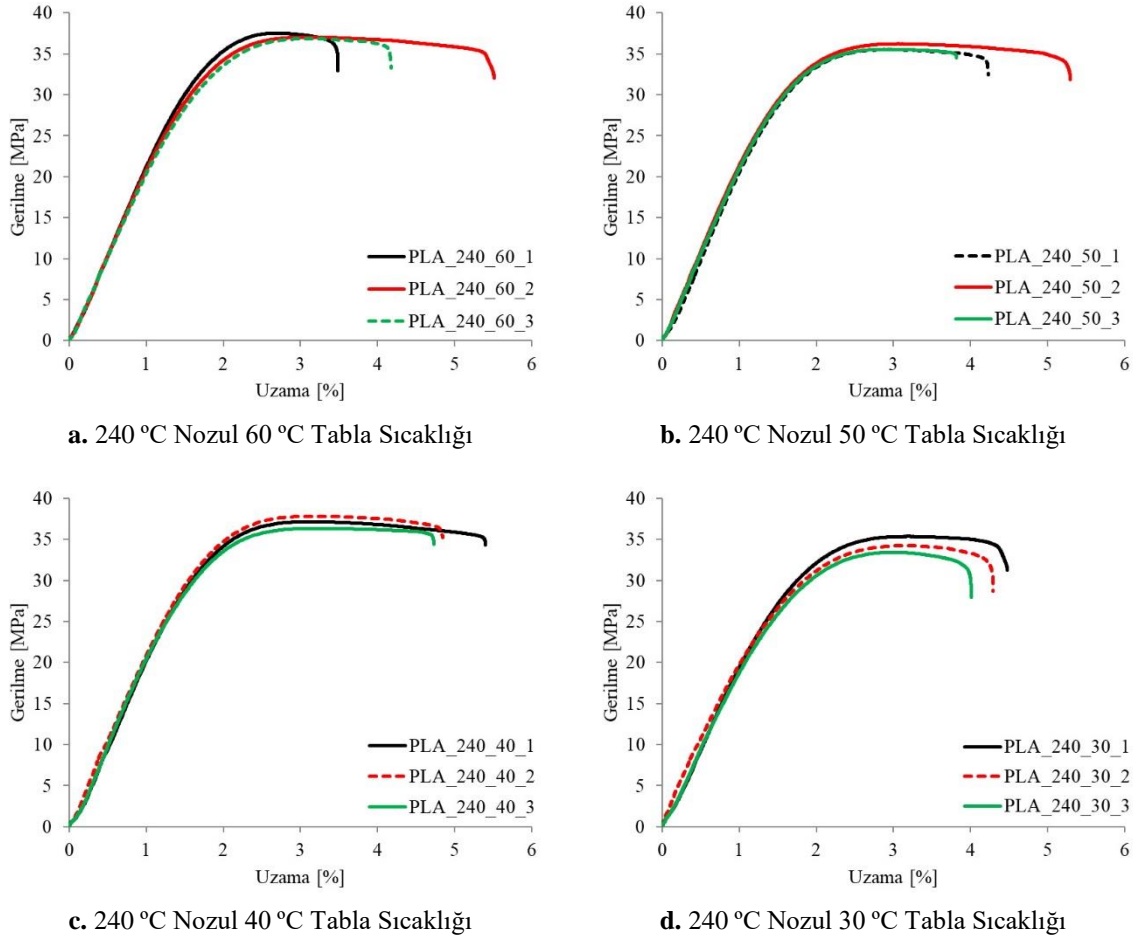
d. 230 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı



e. 220 °C Nozul 80 °C Tabla Sıcaklığı

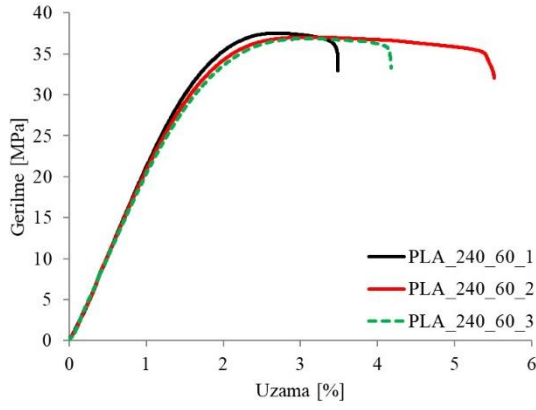
Şekil 10. ABS Filament İle Farklı Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Çekme Test Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri

PLA filament ile farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak üçer adet çekme test numunesi üretilmiş olup, bu numunelere çekme testi uygulanmış ve her farklı tabla sıcaklığına ait numunelerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 11'de verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde her bir tabla sıcaklığına ait eğrilerin kendi aralarında birbirlerine yakın oldukları söylenebilir. Şekil 11'de verilen her bir grafik içerisinde gerilme ve uzama bakımından ortalama sayılabilecek olan eğriler seçilmiş olup, bu eğriler grafikler içerisinde kesikli olarak gösterilmiştir. Burada seçilen eğriler PLA malzemede farklı tabla sıcaklıklarının karşılaştırılabilmesi için tek bir grafikte birleştirilmiştir (Şekil 13c).

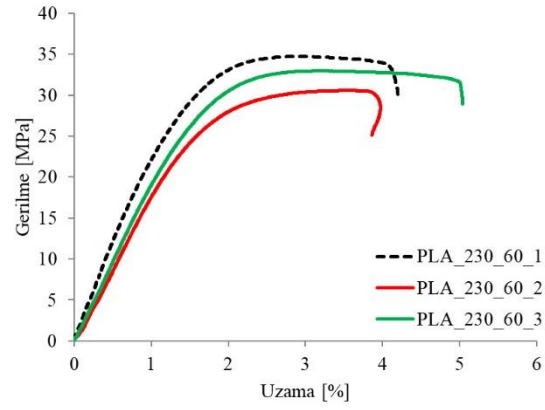


Şekil 11. PLA Filament İle Farklı Tabla Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Çekme Test Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri

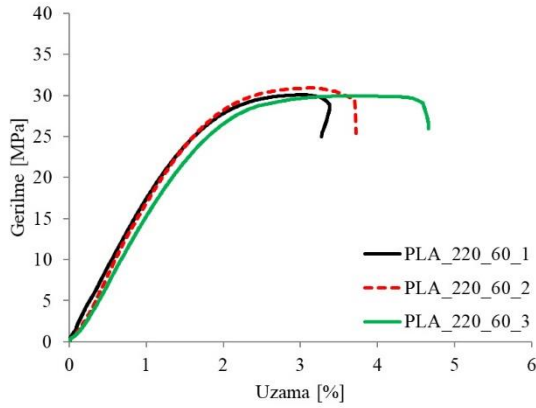
PLA filament ile farklı nozul sıcaklıkları kullanılarak üçer adet çekme test numunesi üretilmiş olup, bu numunelere çekme testi uygulanmış ve her farklı nozul sıcaklığına ait numunelerin gerilme-şekil değişirme eğrileri Şekil 12’de verilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde her bir nozul sıcaklığına ait eğrilerin kendi aralarında birbirlerine yakın oldukları görülmektedir. Bu grafikler arasında sadece 190 °C ve 200 °C nozul sıcaklıklarına ait eğrilerin kendi içinde farklılıklar olduğu gözlenmiştir. Bu nozul sıcaklığındaki numunelerde çok fazla katman içi boşlukların olduğu, üretim sırasında PLA malzemenin nozuldan çıkmakta zorlandığı ile ilgili açıklamalar yukarıda verilmiştir (Şekil 4c, Şekil 4d). Şekil 12’de verilen her bir grafik içerisinde gerilme ve uzama bakımından ortalama sayılabilecek olan eğriler seçilmiş olup, bu eğriler grafikler içerisinde kesikli olarak gösterilmiştir. Burada seçilen eğriler PLA malzemedeki farklı nozul sıcaklıklarının karşılaştırılabilmesi için tek bir grafikte birleştirilmiştir (Şekil 13d). PLA malzeme ile 190 °C ve 200 °C nozul sıcaklıklarında üretilen ürünlere ait eğriler bu değerlendirmeye alınmamıştır.



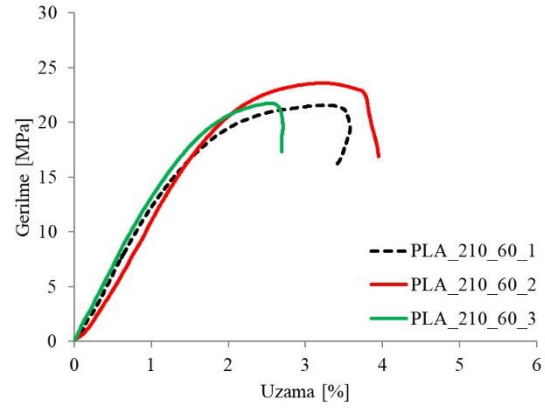
a. 240 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



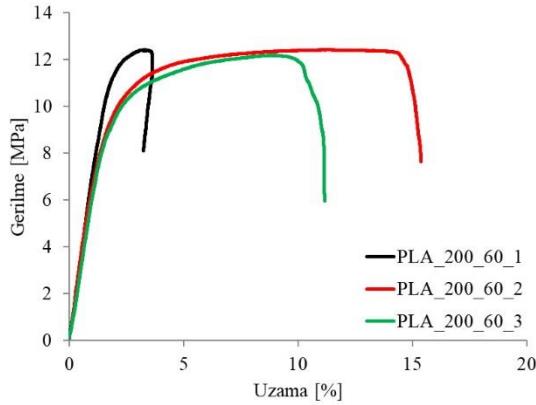
b. 230 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



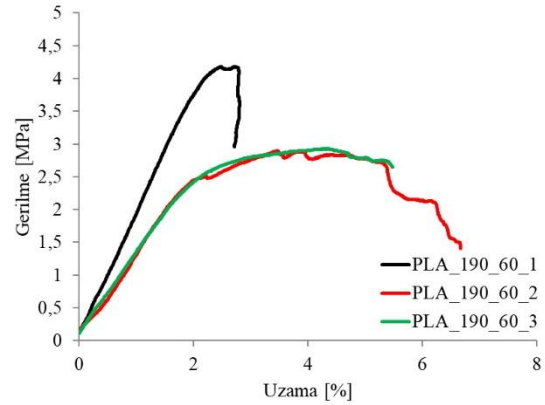
c. 220 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



d. 210 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



e. 200 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı



f. 190 °C Nozul 60 °C Tabla Sıcaklığı

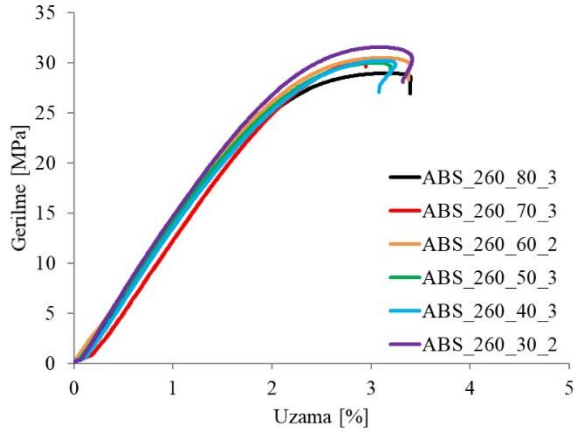
Şekil 12. PLA Filament İle Farklı Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Çekme Test Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri

ABS ve PLA filament ile farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak üretilen çekme test numunelerine ait gerilme-şekil değişirme eğrileri Şekil 13'de verilmiştir. Şekil 13a incelendiğinde ABS malzeme ile farklı tabla sıcaklıklarında üretilen ürünlerin gerilme şekil değişirme eğrilerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Tabla sıcaklığındaki değişimin ABS malzeme ile üretilen çekme test numuneleri üzerinde gerilme ve uzama açısından bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Şekil 13b incelendiğinde ABS malzeme ile farklı nozul sıcaklıklarında üretilen ürünlerin gerilme şekil değişirme eğrilerinde genel olarak uzamanın değişmediği, fakat nozul sıcaklığının düşmesiyle çekme dayanımının da azaldığı tespit edilmiştir.

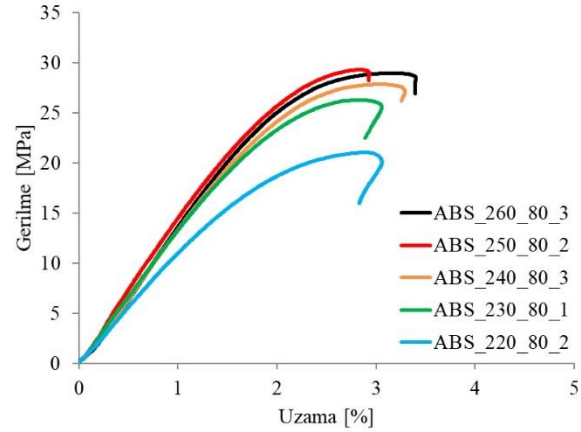
Şekil 13c incelendiğinde PLA malzeme ile farklı tabla sıcaklıklarında üretilen ürünlerin gerilme şekil değişirme eğrilerinin neredeyse birbirleriyle çakışık olduğu görülmektedir. Tabla sıcaklığındaki değişimin PLA malzeme ile üretilen çekme test numuneleri üzerinde gerilme ve uzama açısından çok fazla bir etkisinin olmadığı söylenebilir.

Şekil 13d incelendiğinde PLA malzeme ile farklı nozul sıcaklıklarında üretilen ürünlerin gerilme şekil değiştirme eğrilerinde uzama bakımından çok az bir farklılık görülürken, nozul sıcaklığının düşmesiyle çekme dayanımında gözle görülür bir azalma olduğu belirlenmiştir.

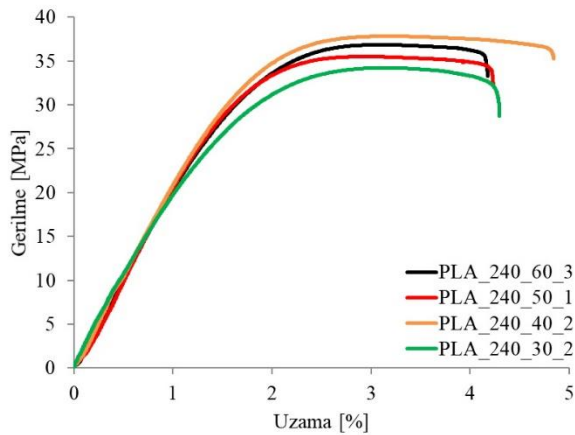
Sonuç olarak ABS ve PLA malzemelerin her ikisinde de farklı tabla sıcaklıklarının çekme numunesi gerilme şekil değiştirme eğrileri üzerinde çok fazla bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. ABS ve PLA malzemelerle üretilen çekme numunelerinde nozul sıcaklığının düşmesiyle çekme dayanımının da azaldığı, uzamada ise kayda değer bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Literatürde nozul sıcaklığının düşmesiyle çekme dayanımının azaldığını gösteren benzer çalışmalar yer almaktadır (Aydın vd., 2019). PLA malzeme ile üretilen ürünlerin çekme dayanımı değerlerinin ABS malzeme ile üretilen ürünlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



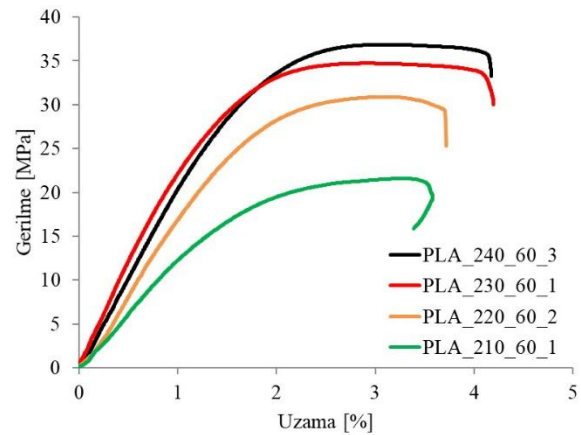
a. ABS Malzeme Farklı Tabla Sıcaklığı



b. ABS Malzeme Farklı Nozul Sıcaklığı



c. PLA Malzeme Farklı Tabla Sıcaklığı



d. PLA Malzeme Farklı Nozul Sıcaklığı

Şekil 13. ABS ve PLA filament ile farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak üretilen çekme test numunelerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri arasından seçilen ortalama eğriler

Şekil 13'de nozul sıcaklığının düşmesiyle her iki malzeme tipinde de Hook Doğrusu eğiminin ve maksimum çekme dayanımının azaldığı görülmekte olup, kopma uzamalarında çok fazla bir değişim gözlenmemektedir. Hook doğrusu eğiminin azalmasıyla birlikte, elastisite modüllerinin de azaldığı görülmektedir (Tablo 6 ve Tablo 7). Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda, nozul sıcaklığının düşmesiyle her iki malzemede de rijitliğin ve tokluğun azaldığı söylenebilir.

Farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak ABS malzeme ile üretilen çekme test numuneleri arasından seçilen numunelere ait çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri Tablo 6'de verilmiştir. Nozul sıcaklığının azalmasıyla numunelerin çekme dayanımı ve elastisite modüllerinin azaldığı gözlenirken, tabla sıcaklığının değişiminin bu özellikler üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Tabloda belirtilen maksimum ve minimum

nozul sıcaklıkları arasında çekme dayanımı bakımından %27, elastisite modülü bakımından %32'lik bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 6. ABS Filament İle Farklı Tabla Ve Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numuneleri Arasından Seçilen Numunelere Ait Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü Değerleri

| Numune Kodu | Nozul Sıcaklığı (°C) | Tabla Sıcaklığı (°C) | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (GPa) |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| ABS_260_80_3 | 260 | 80 | 28,925 | 1,417 |
| ABS_260_70_3 | 260 | 70 | 29,995 | 1,468 |
| ABS_260_60_2 | 260 | 60 | 30,448 | 1,479 |
| ABS_260_50_3 | 260 | 50 | 29,962 | 1,426 |
| ABS_260_40_3 | 260 | 40 | 30,187 | 1,341 |
| ABS_260_30_2 | 260 | 30 | 31,536 | 1,468 |
| ABS_260_80_3 | 260 | 80 | 28,925 | 1,417 |
| ABS_250_80_2 | 250 | 80 | 29,268 | 1,403 |
| ABS_240_80_3 | 240 | 80 | 27,815 | 1,262 |
| ABS_230_80_1 | 230 | 80 | 26,427 | 1,253 |
| ABS_220_80_2 | 220 | 80 | 21,011 | 0,958 |

Farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak PLA malzeme ile üretilen çekme test numuneleri arasından seçilen numunelere ait çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri Tablo 7'da verilmiştir. Nozul sıcaklığının azalmasıyla numunelerin çekme dayanımı ve elastisite modüllerinin azaldığı gözlenirken, tabla sıcaklığının değişiminin bu özellikler üzerinde çok fazla bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Tabloda belirtilen maksimum ve minimum nozul sıcaklıkları arasında çekme dayanımı bakımından %41, elastisite modülü bakımından %42'lik bir azalma tespit edilmiştir.

Tablo 7. PLA Filament İle Farklı Tabla Ve Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Test Numuneleri Arasından Seçilen Numunelere Ait Çekme Dayanımı ve Elastisite Modülü Değerleri

| Numune Kodu | Nozul Sıcaklığı (°C) | Tabla Sıcaklığı (°C) | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite Modülü (GPa) |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| PLA_240_60_3 | 240 | 60 | 36,850 | 2,246 |
| PLA_240_50_1 | 240 | 50 | 35,506 | 2,323 |
| PLA_240_40_2 | 240 | 40 | 37,829 | 2,221 |
| PLA_240_30_2 | 240 | 30 | 34,219 | 2,293 |
| PLA_240_60_3 | 240 | 60 | 36,850 | 2,246 |
| PLA_230_60_1 | 230 | 60 | 34,714 | 2,356 |
| PLA_220_60_2 | 220 | 60 | 23,125 | 1,994 |
| PLA_210_60_1 | 210 | 60 | 21,576 | 1,304 |

SONUÇLAR

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3B yazıcıda ABS ve PLA malzeme ile farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak çekme test numuneleri üretilmiştir. Tabla ve nozul sıcaklıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretilen numunelerin kütleleri, sertlikleri, yüzey pürüzlülükleri ölçülmüş ve üretilen numunelere çekme testi yapılmıştır. 3B yazıcı ile üretilen çekme numunelerinin boyutlandırılmasında ASTM D638-14 standardı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1) ABS ve PLA malzemelerin her ikisinde de farklı tabla sıcaklıklarının kütle, sertlik, yüzey pürüzlülüğü, çekme dayanımı ve uzama bakımından çok fazla bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. ABS malzemedeki 30 °C ve 40 °C tabla sıcaklığı ile üretilen numuneler bu değerlendirmenin dışında tutulmuştur.

2) ABS malzeme ile 30 °C ve 40 °C tabla sıcaklığı ile üretilen numunelerde üretim sırasında malzemelerin yazdırma tablası üzerinden ayrılarak, nozuldan malzeme çıkışını bir miktar engellediği gözlenmiştir.

3) ABS ve PLA malzemelerle üretilen çekme numunelerinde nozul sıcaklığının düşmesiyle kütle, üst yüzey sertlik ve çekme dayanımı değerlerinin azaldığı, aritmetik ortalama pürüzlülük değerlerinin arttığı, alt yüzey sertlik ve

uzama değerlerinde ise kayda değer bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. ABS malzemede 220 °C ve PLA malzemede 190 °C ve 200 °C nozul sıcaklığı ile üretilen numuneler bu değerlendirmenin dışında tutulmuştur.

4) ABS malzemede 220 °C ve PLA malzemede 190 °C ve 200 °C nozul sıcaklığı ile üretilen numunelerde katman içi boşlukların olduğu, üretim sırasında malzemenin nozuldaki çıkarmakta zorlandığı gözlenmiştir.

5) PLA malzeme ile üretilen ürünlerin çekme dayanımı değerlerinin genel olarak ABS malzeme ile üretilen ürünlerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

6) ABS malzeme ile maksimum ve minimum nozul sıcaklıklarında üretilen numuneler arasında çekme dayanımı bakımından %27, elastisite modülü bakımından %32'lik bir azalma tespit edilmiştir.

7) PLA malzeme ile maksimum ve minimum nozul sıcaklıklarında üretilen numuneler arasında çekme dayanımı bakımından %41, elastisite modülü bakımından %42'lik bir azalma tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

Andó, M., Biroş, M., & Jeganmohan, S. (2021). Surface bonding of additive manufactured parts from multi-colored PLA materials. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 169, 108583. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108583>

Aslan, B., & Yıldız, A.R. (2020). Optimum design of automobile components using lattice structures for additive manufacturing. *Materials Testing*, 62(6), 633-639. <https://doi.org/10.3139/120.111527>

ASTM D638-14. (2014). Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM International. West Conshohocken. PA. <https://doi.org/10.1520/D0638-14>

Aydin, M., Yildirim, F., & Canti, E. (2019). Investigation of the processing performance of PLA filament in different printing parameters. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(2), 102-115.

Dilberoglu, U. M., Simsek, S., & 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>

Gupta, P., Kumari, S., Gupta, A., Sinha, A.K., & Jindal, P. (2021). Effect of heat treatment on mechanical properties of 3D printed polylactic acid parts, *Materials Testing*, 63(1), 73-78. <https://doi.org/10.1515/mt-2020-0010>

Roj, R., Nurnberg, J., Theiss, R., & Dultgen, P. (2020). Comparison of FDM-printed and compression molded tensile samples, *Materials Testing*, 62(10), 985-992. <https://doi.org/10.3139/120.111575>

Schirmeister, C. G., Hees, T., Licht, E. H., & Mülhaupt, R. (2019). 3D printing of high density polyethylene by fused filament fabrication. *Additive Manufacturing*, 28(April), 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.05.003>

Solmaz, M. Y., & Çelik, E. (2018). Investigation of Compression Test Performances of Honeycomb Sandwich Composites Produced by 3D Printing Method. *Science and Engineering Journal of Firat University*, 30(1), 277-286.

The Ultimaker 2 Extended specifications. (2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011987939-The-Ultimaker-2-Extended-specifications/> Accessed 06.02.2021.

The Ultimaker 2 Extended user manual. (2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011987819-The-Ultimaker-2-Extended-user-manual/> Accessed 06.02.2021.

Torun, A.R., Dike, A.S., Yıldız, E.C., Sağlam, İ., & Choupani, N. (2021). Fracture characterization and modeling of Gyroid filled 3D printed PLA structures, *Materials Testing*, 63(5), 397-401. <https://doi.org/10.1515/mt-2020-0068>

Ultimaker ABS SDS. (2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962900-Ultimaker-ABS-SDS/> Accessed 15.02.2021.

Ultimaker ABS TDS. (2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759139-Ultimaker-ABS-TDS/> Accessed 15.02.2021.

Ultimaker PLA SDS. (2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759359-Ultimaker-PLA-SDS/> Accessed 15.02.2021.

Ultimaker PLA TDS. (2020). <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962720-Ultimaker-PLA-TDS/> Accessed 15.02.2021.

Uzun, M., & Erdogdu, Y. E. (2020). Investigation of the Effect of Using Unreinforced and Reinforced PLA in Production by Fused Deposition Modeling on Mechanical Properties. *Iğdir University Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2800–2808. <https://doi.org/10.21597/jist.799230>

Uzun, M., Gür, Y., & Usca, Ü. A. (2018). Manufacturing of new type curvilinear tooth profiled involute gears using 3D printing. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology*, 20(1), 1–9. <https://doi.org/10.25092/baunfbed.398462>

Yaman, U. (2018). Shrinkage compensation of holes via shrinkage of interior structure in FDM process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(5–8), 2187–2197. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1018-2>

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>

Yaman, U., Butt, N., Sacks, E., & Hoffmann, C. (2016). Slice coherence in a query-based architecture for 3D heterogeneous printing. *CAD Computer Aided Design*, 75–76, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2016.02.005>

Yaman, U., Dolen, M., & Hoffmann, C. (2019). Generation of patterned indentations for additive manufacturing technologies. *IISE Transactions*, 51(2), 209–217. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1491076>