

3 Boyutlu Yazıcı ile Farklı Yazdırma Parametreleri Kullanılarak Üretilen Eğme Test Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Muhammed Safa KAMER^{*1}, Oğuz DOĞAN¹, Şemsettin TEMİZ²,
Hakan YAYKAŞLI³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Kahramanmaraş

²İnönü Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

³Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Kahramanmaraş

Geliş tarihi: 25.06.2021

Kabul tarihi: 13.09.2021

Öz

Eklemeli imalat yöntemi ile üretilen parçaların mekanik özelliklerinin bilinmesi tasarımcılar ve kullanıcılar için büyük önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemine ait, üretim parametrelerinden nozul sıcaklığı, tabla sıcaklığı ve dolgu deseni değişiminin, eğilmeye karşı olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. ABS ve PLA malzemeler kullanılarak farklı üretim parametrelerine sahip deney numuneleri üç boyutlu yazıcılar ile üretilmiştir. Üretilen numuneler üç noktalı eğme testine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda her bir parametrenin etkisinin gözlemlenmesi için kuvvet-sehim eğrileri oluşturulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak PLA malzemesinin eğilme dayanımının ABS malzemeye göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca PLA malzemesi için nozul sıcaklığının düşmesi ile eğilme dayanımının da büyük oranda düştüğü tespit edilmiştir. Dolgu deseni değişiminin, hem ABS hem de PLA malzemesi için eğilme dayanımını kayda değer oranda değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, Erimiş yığıma modellemesi (EYM), 3B Yazıcı, Eğme testi, Dolgu deseni, Nozul ve tabla sıcaklığı

Investigation of the Mechanical Properties of Flexural Test Samples Produced Using Different Printing Parameters with a 3D Printer

Abstract

Definition of the mechanical properties of the parts produced by the additive manufacturing method is of great importance for designers and users. In this study, the effects of the production parameters of the additive manufacturing method, such as nozzle, table temperature, and the variation of the filling pattern

*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Muhammed Safa KAMER, msafakamer@ksu.edu.tr

on flexural strength, are experimentally investigated. The test samples with different production parameters using ABS and PLA materials are produced with 3D printers. The produced samples are subjected to the three-point flexural test. As a result of the experiments, force-deflection curves are created. The effects of each parameter, and the results are evaluated. It has been determined that PLA is generally more durable in flexural strength than ABS. In addition, it is determined that the change of nozzle temperature for PLA material considerably changed its mechanical properties. The infill pattern change significantly changed the mechanical properties of both PLA and ABS material.

Keywords: Additive manufacturing, Fused deposition modeling (FDM), 3D Printer, Flexural test, Infill pattern, Printing and bed temperature

1. GİRİŞ

Üç boyutlu üretim tekniği, üretilecek parçanın tek parça halinde katman katman işlenerek üretilmesi mantığına dayanan bir üretim metodu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu üretim tekniğinde hammadde ısıtılarak akışkan hale getirilir ve bir nozuldan geçirilerek üretilecek olan parçanın katmanlar halinde üretilmesi sağlanır. Geliştirilen bu yeni üretim tekniği sayesinde geleneksel üretim yöntemleri ile tek aşamada üretilmeyecek olan ürünler kolaylıkla üretilebilir hale gelmiş ve üç boyutlu üretim tekniği gün geçtikçe pratik yaşamda da önemini arttırmaya başlamıştır. Ngo ve arkadaşları [1] kapsamlı derleme çalışmalarında eklemeli üretimin avantajlarını; tasarım özgürlüğü, kişiselleştirme, atık minimizasyonu, karmaşık yapıları üretme yeteneği olarak sıralamaktadır.

Önemi her geçen gün artan bu teknoloji ile üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenerek belirlenmesi son yıllarda araştırmacılar tarafından büyük ilgi ile karşılanmıştır. Literatür incelendiğinde özellikle son yıllarda, eklemeli imalat yöntemi ile üretilen ürünlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik birçok farklı çalışmanın olduğu görülmektedir. Popescu ve arkadaşları [2] FDM üretim parametrelerinin polimer test numunelerinin mekanik özelliklerine olan etkilerini derleme çalışmaların kapsamlı olarak özetlemişlerdir. Eklemeli üretim ile üretilen malzemeler için en belirleyici mekanik özelliklerin çekme, basma, eğilme ve darbe dayanımları olduğu vurgulanmaktadır.

Mekanik özellikler özelinde incelediğimiz literatürde en fazla farklı üretim parametrelerinin çekme dayanımı üzerine olan etkisinin incelendiği

görülmektedir. Jayanth ve arkadaşları [3] eklemeli imalat yöntemi ile üretilen ABS malzemesi için kimyasal işlemlerin yüzey pürüzlülüğü ve çekme dayanımına etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Kimyasal işlem sonucunda daha yüzey pürüzlülüğü elde edilmesine karşın, daha kötü çekme mukavemet değerleri elde edilmiştir. Rajpurohit ve arkadaşları [4] tarama açısı, genişliği ve katman yüksekliği yüksekliğinin çekme dayanımına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Tarama açısı 0° olduğunda en yüksek 90° olduğunda en düşük çekme dayanımları elde edilmiştir. Üç boyutlu yazdırma işleminde bazı malzemelere takviye eklemeleri yapılarak malzemelerin mekanik davranışları incelenmiştir. Bakır ve karbon fiber eklenmiş PLA malzemesinin, eklenmemiş malzemeye göre çekme dayanımlarının düştüğü tespit edilmiştir [5]. Ayrıca bazı çalışmalarda ise, sağ ve sol yarıları farklı renklerde üretilen PLA çekme numunelerinin yapıştırma bağı ile bağlanarak çekme testine tabi tutulmuş ve yapıştırma dayanımı tespit edilmiştir [6]. Rodríguez-Panes ve arkadaşları [7] PLA ve ABS test numunelerinin mekanik performansı üzerindeki katman yüksekliği, dolgu yoğunluğu ve katman yöneliminin etkisini deneysel olarak karşılaştırmıştır. Tüm parametreler için PLA kullanılarak üretilen test numuneleri daha rijit bir performans sergilemiştir ayrıca ABS'den daha fazla çekme mukavemetine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Eklemeli imalat yöntemi ile üretilen polimerlerin darbe dayanımlarının incelenmesine yönelik literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Tezel ve arkadaşları [8] ABS, PLA, PET-G ve PC malzemeleri için, farklı katman yüksekliği ve

üretim açılarının darbe dayanımına olan etkisini deneysel olarak incelemiştir. Sood ve arkadaşları [9] FDM metodu ile üretilen test numunelerinin çekme, eğilme ve darbe dayanımları deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada, beş farklı tasarım parametresinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca deneylerden elde edilen sonuçlar ile ampirik ifadeler elde edilmiş ve varyans analizi yapılarak doğrulanmıştır. Eklemeli imalat yönteminde kontrol edilebilir bir diğer parametre ise dolgu oranı ve deseni olarak karşımıza çıkmaktadır. Liu ve arkadaşları [10] farklı dolgu oranlarının TPE malzemesinden üretilen çekme numunelerinin dayanımına olan etkisini nümerik ve deneysel olarak incelemiştir. Dolgu yoğunluğunun artması ile birlikte çekme dayanımının da arttığı tespit edilmiştir. Tatlı ve arkadaşları [11] çalışmalarında kendi tasarlayıp ürettikleri üç boyutlu bir yazıcıda farklı dolgu geometrilerinin çekme eğilme ve Charpy darbe mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Izgara geometrisinin maksimum çekme kuvvetine, geoid dolgunun maksimum eğilme dayanımına sahip olduğu tespit edilirken darbe yüküne karşı kayda değer bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. Akhoundi ve arkadaşları [12] üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş farklı dolgu desenlerinin çekme ve eğilme dayanımına olan etkisini deneysel olarak incelemiştir.

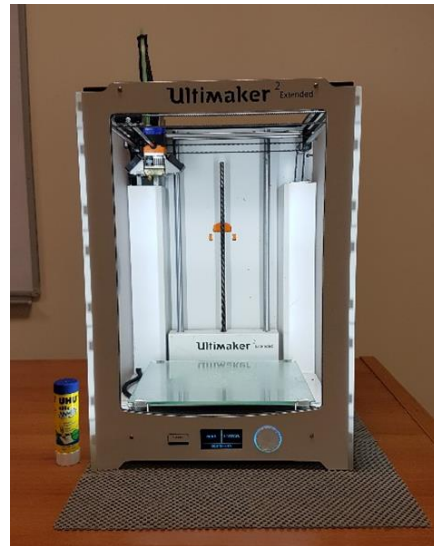
Üç boyutlu yazıcılar ile üretilen numunelerin literatürde karşılaşılan bir diğer önemli testi ise basma testi olarak karşımıza çıkmaktadır. Haldar ve arkadaşları [13] PLA malzemeden üretilmiş 3D baskılı oluklu çekirdek tasarımına sahip sandviç yapıların sıkıştırma davranışı deneysel olarak incelemiştir. Solmaz ve arkadaşları [14] petek hücrelerinin üretiminde üç boyutlu yazıcı ile üretilen PLA ve ABS kullanılan altıgen yapıları sandviç yapıların basma dayanımlarını deneysel olarak incelemiştir. Farklı hücre boyutu ve farklı hücre yüksekliğine sahip yapılar testlerde kullanılmıştır. Maksimum dayanım 7 mm hücre boyutu ve 25 mm hücre yüksekliğinde elde edilmiştir. Chacon ve arkadaşları [15] eklemeli imalat yöntemi ile PLA malzemeden üretilen yapılar için, farklı üretim parametrelerinin mekanik özelliklere olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde çekme ve üç nokta eğilme testleri

uygulanmıştır. Katman katman üretim nedeniyle, 3 boyutlu yazdırılan yapıların anizotropik davranış sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca, dikey yönlendirme için katman kalınlığı arttıkça mekanik özelliklerin iyileştiği ve ilerleme hızı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcıda ABS ve PLA malzeme ile farklı dolgu desenleri, farklı nozul ve tabla sıcaklıkları kullanılarak eğme test numuneleri üretilmiştir. Dolgu deseninin, nozul ve tabla sıcaklıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretilen numunelerin kütleleri ölçülmüş ve üretilen numunelere eğme testi yapılmıştır. Eğme testleri sonucunda kuvvet-sehim eğrileri elde edilmiş ve farklı tasarım parametreleri için eğilme dayanımları kıyaslanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

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” [16-17] 3B yazıcı kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Test numunelerinin üretiminde kullanılan Ultimaker 2 Extended 3B yazıcı

Eğme test numunelerinin boyutlandırılmasında ASTM D790-17 standardı [18] kullanılmıştır. Belirtilen standart ölçülerindeki eğme test numunesi 3 boyutlu olarak bilgisayar ortamında SolidWorks CAD yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır.

2.1. Farklı Nozul ve Tabla Sıcaklıkları Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

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 eğme test numuneleri üretilmiştir. Ultimaker ABS malzeme ürün etiketinde belirtilen sıcaklık aralığı 225-260°C, Ultimaker PLA malzeme ürün etiketinde belirtilen sıcaklık aralığı 195-240°C'dir. Her farklı parametre için dörder adet olacak şekilde, ABS malzeme ile 40 adet ve PLA malzeme ile 36 adet test numunesi üretilmiştir. 3 boyutlu yazıcıda farklı nozul ve tabla sıcaklıklarında ABS ve PLA malzeme kullanılarak üretilen eğme test numunelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

SolidWorks CAD yazılımı ile 3 boyutlu olarak tasarımı yapılan eğme test numunesinin G-kodlarının oluşturulmasında Ultimaker markasının kendi yazılımı olan Cura CAM yazılımı kullanılmıştır. Tasarımın yazıcı tablası üzerindeki konumu, açısı vb. ayarlar yapıldıktan sonra Çizelge 1'de belirtilen parametreler seçilerek tasarımın G-kodları oluşturulmuştur. Oluşturulan G-kodları SD kart yardımıyla 3 boyutlu yazıcıya aktarılmıştır.

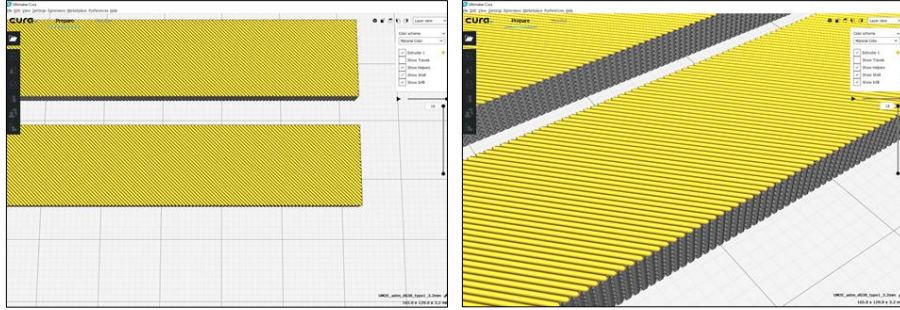
ABS malzeme ile eğme test numunesi üretiminde öncelikle 3 boyutlu yazıcıda yazdırma tablasının manuel olarak kalibrasyonu yapılmıştır. 3 boyutlu yazıcıya Ultimaker marka ABS malzeme [19-20] takılmıştır. 3 boyutlu yazıcının yazdırma tabla ve nozul sıcaklığı yukarıda belirtilen değerlere ayarlanmıştır.

Çizelge 1. Farklı nozul ve tabla sıcaklığı çalışmaları için Cura CAM yazılımında seçilen parametreler

Yazıcı	Ultimaker 2 extended with olsson block
Malzeme	Ultimaker ABS veya ultimaker PLA
Nozul çapı	0,4 mm
Katman kalınlığı	0,2 mm
Duvar kalınlığı	0 mm
Üst/Alt kalınlığı	0 mm
Dolgu yoğunluğu	%100
Dolgu deseni	Lines 0° (Şekil 2)
Yazdırma hızı	60 mm/s
Boşta gezme hızı	120 mm/s

PLA malzeme ile eğme test numunesi üretiminde öncelikle 3 boyutlu yazıcıda yazdırma tablasının manuel olarak kalibrasyonu yapılmıştır. 3 boyutlu yazıcıya Ultimaker marka PLA malzeme [21-22] takılmıştır. 3 boyutlu yazıcının yazdırma tabla ve nozul sıcaklığı yukarıda belirtilen değerlere 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 kalınlığından yapıştırıcı (Uhu Stic Magic Blue) sürülmüştür.



Şekil 2. Cura CAM programında seçilen Lines 0° dolgu deseni görüntüleri

2.2. Farklı Dolgu Desenleri Kullanılarak Yapılan Çalışmalar

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 eğme numunesinin G-kodlarının oluşturulmasında Ultimaker markasının kendi yazılımı olan Cura CAM yazılımı kullanılmıştır. Tasarımın yazıcı tablası üzerindeki konumu, açısı vb. ayarlar yapıldıktan sonra Çizelge 2’de belirtilen parametreler seçilerek tasarımın G-kodları oluşturulmuştur. G-kodlarının oluşturulmasında belirtilen parametrelerden sadece dolgu deseni (Lines 0°-Lines 90° Connect-Lines 180°-Concentric-Zig Zag) değiştirilerek farklı G-kodları oluşturulmuştur. Cura CAM programında seçilen dolgu deseni görüntüleri Şekil 3’de gösterilmiştir. Oluşturulan G-kodları SD kart yardımıyla 3 boyutlu yazıcıya aktarılmıştır.

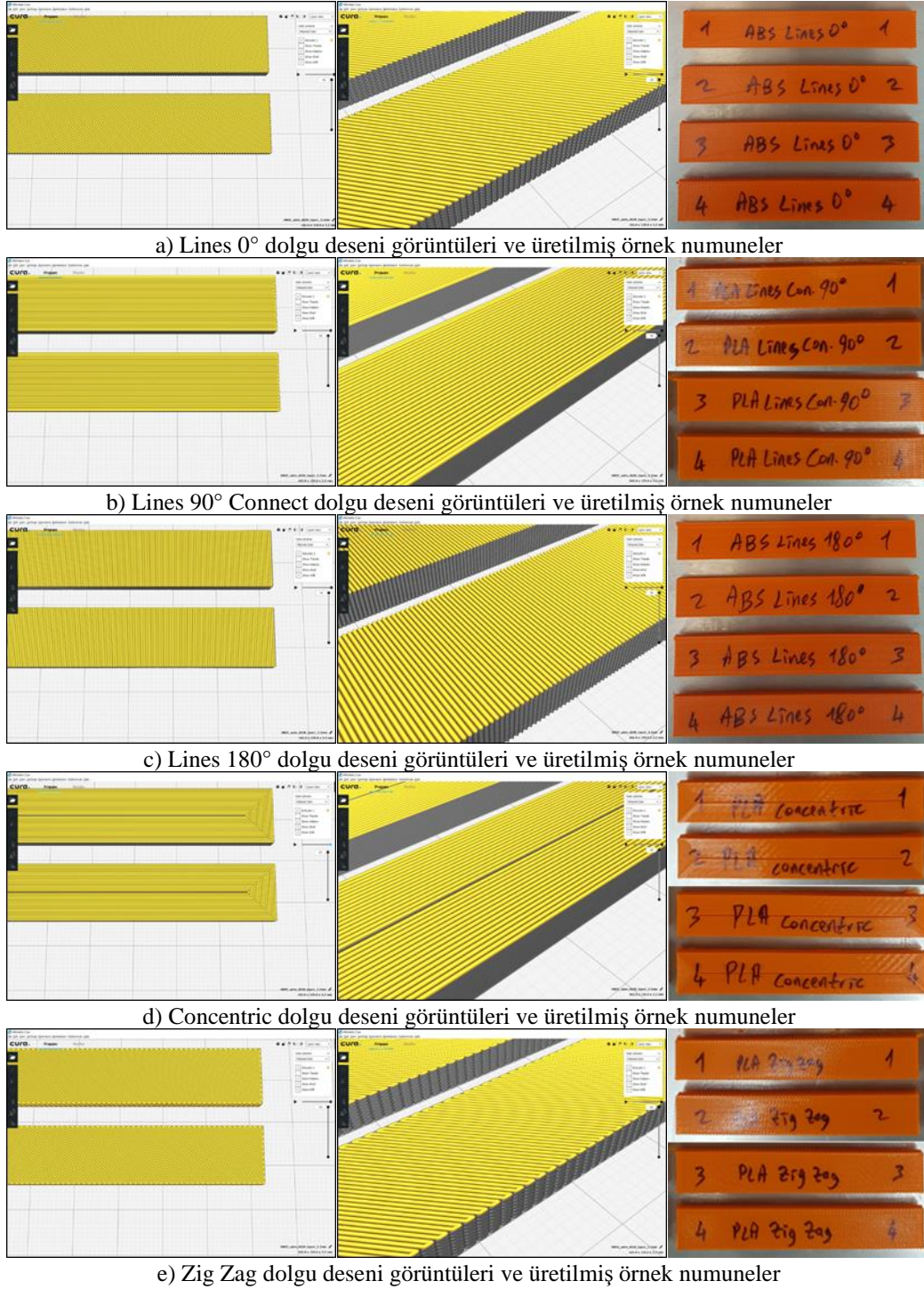
Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcıda öncelikle baskı tablasının manuel olarak kalibrasyonu yapılmıştır. 3 boyutlu yazıcıya Ultimaker marka ABS malzeme [19-20] veya Ultimaker marka PLA malzeme [21-22] takılmıştır. Tüm eğme numuneleri bu malzemeler kullanılarak üretilmiştir. Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcının baskı tablasının sıcaklığı ABS malzeme kullanıldığında 80°C’ye, PLA malzeme

kullanıldığında ise 60 °C’ye (Ultimaker ABS ve PLA malzemelerin ürün etiketlerinde belirtilen değere) ayarlanmıştır. ABS malzeme kullanılırken 3 boyutlu yazıcının nozul sıcaklığı 260 °C’ye (225-260 °C Ultimaker ABS ürün etiketinde belirtilen sıcaklık aralığı) ayarlanmıştır. PLA malzeme kullanılırken 3 boyutlu yazıcının nozul sıcaklığı 240 °C’ye (195-240 °C Ultimaker PLA ürün etiketinde belirtilen sıcaklık aralığı) ayarlanmıştır. Üretim işlemi başlamadan 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. ABS ve PLA malzemeler kullanılarak üretilen numunelerin bir kısmı Şekil 3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Farklı dolgu deseni çalışmaları için Cura CAM yazılımında seçilen parametreler

Yazıcı	Ultimaker 2 Extended with olsson block
Malzeme	Ultimaker ABS veya ultimaker PLA
Nozul çapı	0,4 mm
Katman kalınlığı	0,2 mm
Duvar kalınlığı	0 mm
Üst/alt kalınlığı	0 mm
Dolgu yoğunluğu	% 100
Dolgu deseni	Lines 0°-Lines 90° Connect-Lines 180°-Concentric-Zig Zag (5 farklı dolgu deseni kullanılarak test numuneleri üretilmiştir)
Yazdırma hızı	60 mm/s
Boşta gezme hızı	120 mm/s

3 Boyutlu Yazıcı ile Farklı Yazdırma Parametreleri Kullanılarak Üretilen Eğme Test Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi



Şekil 3. Cura CAM programında seçilen dolgu deseni görüntüleri ve üretilmiş örnek numuneler

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada; Ultimaker 2 Extended 3 boyutlu yazıcıda ABS ve PLA malzeme ile farklı dolgu desenleri, farklı nozul ve tabla sıcaklıkları kullanılarak eğme test numuneleri üretilmiştir. Dolgu deseninin, nozul ve tabla sıcaklıklarının mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3.1. Farklı Nozul ve Tabla Sıcaklıkları Kullanılarak Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Veriler

Farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak ABS ve PLA malzeme ile üretilen numunelerin kütle değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak ABS ve PLA malzeme ile üretilen numunelerin kütlelerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Çizelge 3’de görülen küçük kütle farklılıklarının numuneler üzerindeki yapıştırıcı kalıntıları, üretim sırasındaki buharlaşma miktarı gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 3. Farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak üretilen test numunelerinin kütle değerleri

Filament türü	Nozul sıcaklığı (C°)	Tabla sıcaklığı (C°)	Ölçülen değerler
			Ortalama kütle (g)
ABS	260	80	3,71
ABS	260	70	3,70
ABS	260	60	3,66
ABS	260	50	3,70
ABS	260	40	3,48
ABS	260	30	3,53
PLA	240	60	3,85
PLA	240	50	3,82
PLA	240	40	3,88
PLA	240	30	3,91

Farklı nozul ve tabla sıcaklıkları kullanılarak ABS ve PLA malzeme ile üretilen numunelerin kütle değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4’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.

Çizelge 4. Farklı nozul sıcaklıkları kullanılarak üretilen test numunelerinin kütle değerleri

Filament türü	Nozul sıcaklığı (C°)	Tabla sıcaklığı (C°)	Ölçülen değerler
			Ortalama kütle (g)
ABS	260	80	3,71
ABS	250	80	3,51
ABS	240	80	3,70
ABS	230	80	3,54
ABS	220	80	3,76
PLA	240	60	3,85
PLA	230	60	3,83
PLA	220	60	3,74
PLA	210	60	3,40
PLA	200	60	3,39
PLA	190	60	2,80

Farklı nozul sıcaklıkları kullanılarak ABS ve PLA malzeme ile üretilen numunelerin kütle değerleri Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak ABS malzeme ile üretilen numunelerin kütlelerinde kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Fakat nozul sıcaklığının azalmasıyla PLA malzeme ile üretilen numunelerin kütlelerinin de benzer şekilde azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak; nozul sıcaklığının azalmasıyla PLA filamentin nozul içerisinde yeteri kadar erimeye fırsat bulamadan ittirilmesi gerektiğinden, ABS filamentte göre daha sert ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olan PLA filamentin, filament besleme motorunda bir miktar kaydırmaya (patinaj) neden olduğu söylenebilir. Bu da sonuç olarak üretilen PLA eğme test numunelerinde kütle kaybı olarak karşımıza çıkmaktadır.

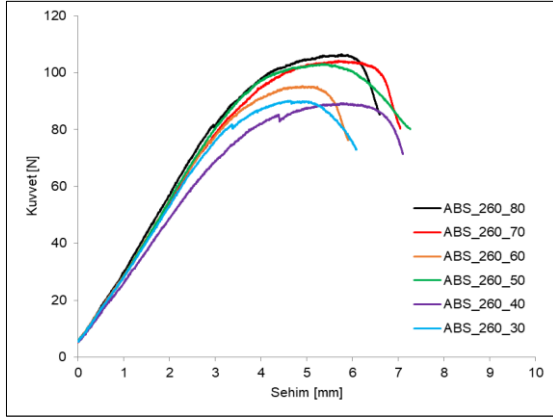
Şekil 4’de her iki malzeme ile farklı nozul ve tabla sıcaklıklarında üretilen numunelerin kuvvet-sehim eğrileri verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, farklı

3 Boyutlu Yazıcı ile Farklı Yazdırma Parametreleri Kullanılarak Üretilen Eğme Test Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

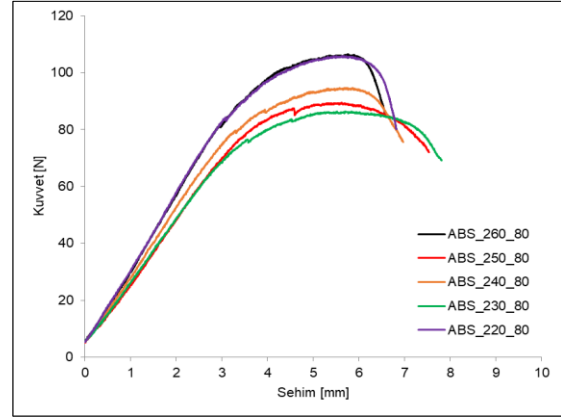
nozul ve tabla sıcaklıklarında ABS malzeme kullanılarak üretilen numunelerin kuvvet-sehim eğrilerinin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir. Şekil 4'de ABS malzeme kuvvet-sehim eğrilerinde görülen küçük farklılıkların numuneler üzerindeki yapıştırıcı kalıntıları, üretim sırasındaki buharlaşma miktarı gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Şekil 4c incelendiğinde, farklı tabla sıcaklıkları kullanılarak PLA malzeme ile üretilen numunelerin kuvvet-sehim eğrilerinin birbiriyle çakışık olduğu görülmektedir. Fakat farklı nozul sıcaklıkları kullanılarak PLA malzeme ile üretilen numunelerin kuvvet-sehim eğrileri (Şekil 4d)

incelendiğinde, nozul sıcaklığının azalmasıyla eğilme dayanımlarının azaldığı ve sehim miktarlarının ise arttığı görülmektedir.

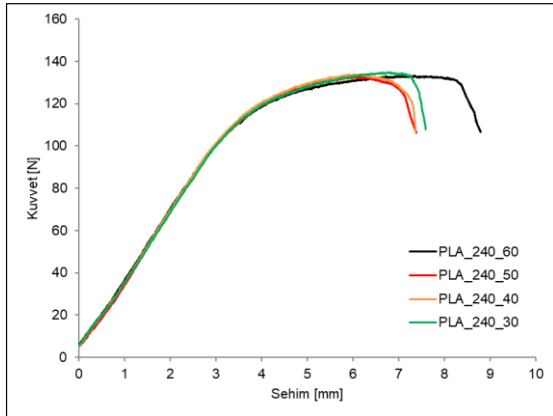
ABS ve PLA malzemeler ile üretilen test numuneleri kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen numunelerin eğilme dayanımlarının genel olarak ABS malzeme ile üretilen numunelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Literatür incelendiğinde benzer sonuçların Rodríguez-Panes ve arkadaşları [7] yapmış oldukları çalışmada da görmek mümkündür.



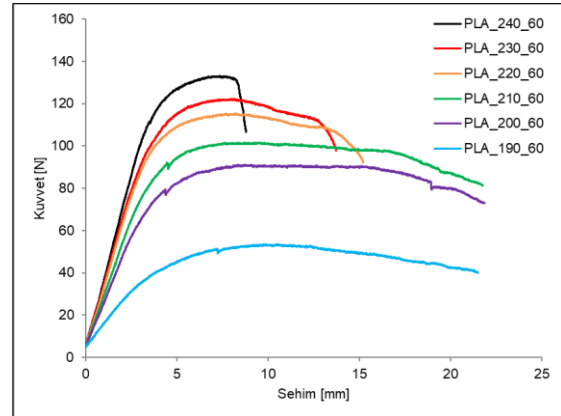
a) ABS malzeme tabla sıcaklığı değişimi



b) ABS malzeme nozul sıcaklığı değişimi



c) PLA malzeme tabla sıcaklığı değişimi



d) PLA malzeme nozul sıcaklığı değişimi

Şekil 4. Farklı tabla ve nozul sıcaklıkları kullanılarak üretilen eğme test numunelerinin kuvvet-sehim eğrileri

3.2. Farklı Dolgu Desenleri Kullanılarak Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Veriler

Farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS ve PLA malzemelerle üretilen numunelerin kütle değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde farklı dolgu desenleri kullanılarak ABS ve PLA filamentlerle üretilen numunelerin kütlelerinde dolgu deseninin değişimine bağlı olarak kayda değer bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Çizelge 5’de görülen küçük kütle farklılıklarının numuneler üzerindeki yapıştırıcı kalıntıları, üretim sırasındaki buharlaşma miktarı gibi etkenlerden kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 5’de her iki malzeme ile farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen numunelerin kuvvet-sehim eğrileri verilmiştir. Şekil 5a 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 eğilme dayanımına ve en yüksek sehim miktarına sahip dolgu tipleri olduğu ve bu dolgu desenlerine sahip numunelerin kuvvet-sehim eğrilerinin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir. ABS malzeme ile Lines 0° ve Zig Zag dolgu desenleriyle üretilen numunelerin kuvvet-sehim eğrilerinin neredeyse birbiriyle çakışık olduğu görülmektedir.

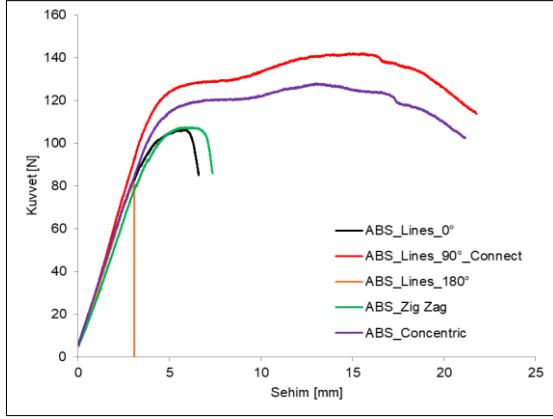
Şekil 5b incelendiğinde, Lines 180° dolgu deseni kullanılarak PLA malzeme ile üretilen numunelerin gevrek malzeme gibi bir davranış sergilediği görülmektedir. PLA malzeme ile Lines 90° Connect ve Concentric dolgu desenleriyle üretilen numunelerin en yüksek eğilme dayanımına sahip dolgu tipleri olduğu ve bu dolgu desenlerine sahip numunelerin kuvvet-sehim eğrilerinin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir. PLA malzeme ile Lines 0° ve Zig Zag dolgu desenleriyle üretilen numunelerin kuvvet-sehim

eğrilerinin birbirlerine çok yakın olduğu ve bu dolgu desenlerinin en yüksek sehim miktarına sahip desenler olduğu görülmektedir. Dezaki ve arkadaşları [23] ve Tatlı ve arkadaşları [11] gerçekleştirdikleri çalışmalarda dolgu deseninin mekanik özellikler üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar incelendiğinde, bu çalışmada elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

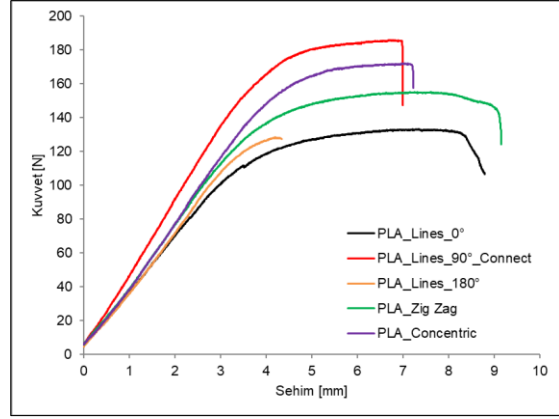
Çizelge 5. Farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen test numunelerinin kütle değerleri

Filament türü	Dolgu deseni	Nozul sıcaklığı (C°)	Tabla sıcaklığı (C°)	Ölçülen değerler
				Ortalama kütle (g)
ABS	Lines 0°	260	80	3,71
ABS	Lines 90° Connect	260	80	3,75
ABS	Lines 180°	260	80	3,71
ABS	Concentric	260	80	3,69
ABS	Zig Zag	260	80	3,69
PLA	Lines 0°	240	60	3,85
PLA	Lines 90° Connect	240	60	3,98
PLA	Lines 180°	240	60	3,92
PLA	Concentric	240	60	3,82
PLA	Zig Zag	240	60	3,93

ABS ve PLA malzemeler ile üretilen ürünlerin gerilme-şekil değiştirme eğrileri kendi aralarında kıyaslandığında, PLA malzeme ile üretilen numunelerin genel olarak eğilme dayanımlarının ABS malzemeye göre daha yüksek, sehim miktarlarının ise ABS malzemeye göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar literatürde birçok çalışmada görülmektedir [1,2,7].



a) ABS malzeme dolgu deseni değişimi



b) PLA malzeme dolgu deseni değişimi

Şekil 5. Farklı dolgu desenleri kullanılarak üretilen eğme test numunelerinin kuvvet-sehim eğrileri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş farklı üretim parametrelerine sahip eğme deney numunelerinin eğilme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. Nozul, tabla sıcaklıkları ve dolgu desenleri farklılık gösteren PLA ve ABS malzemeden üretilmiş eğme numuneleri deneylerde kullanılmıştır. Her bir numune üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuş ve kuvvet-sehim eğrileri elde edilerek, her bir numunenin eğilme dayanımları test edilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- ABS malzeme ile üretilen deney numunelerinde nozul ve tabla sıcaklığının değişimi ile eğilme dayanımları üzerinde en fazla %15'lik bir değişim olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle ABS malzemesi için nozul ve tabla sıcaklıkları değişimin eğilme dayanıma çok fazla etki etmediği tespit edilmiştir.
- PLA malzeme ile üretilen deney numunelerinde tabla sıcaklığının değişimi eğilme dayanımını hemen hiç etkilemezken, nozul sıcaklığının azalması ile eğilme dayanımının hızlı bir şekilde düştüğü ancak malzemenin daha bir sünek yapıya kavuştuğu belirlenmiştir.

- Line_90°_Connect ve Concentric dolgu desenlerine sahip deney numunelerinin en yüksek eğilme dayanımlarına sahip olduğu, Lines_180° dolgu desenine sahip numunelerin en düşük eğilme dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan sonra, benzer üretim parametreleri ile üretilen, çekme, basma veya darbe numunelerinin dayanımları incelenerek, üç boyutlu yazdırma parametrelerinin malzemenin farklı mekanik özelliklerine olan etkisi incelenecektir. Ayrıca elde edilen eğriler sonlu elemanlar analiz programlarına tanımlanarak farklı geometriye sahip yapılar için yapısal analizler gerçekleştirilebilecektir.

5. TEŞEKKÜR

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

6. KAYNAKLAR

1. Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., Hui, D., 2018. Additive Manufacturing (3D Printing): A Review of Materials, Methods, Applications and Challenges, Composites Part B, 143, 172-196.

2. Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baci, F., Marinescu, R., 2018. Process Parameters Influence Over the Mechanical Properties of Polymer Specimens: A Review. *Polymer Testing*, 69, 157-166.
3. Jayanth, N., Senthil, P., Prakash, C., 2018. Effect of Chemical Treatment on Tensile Strength and Surface Roughness of 3D-printed ABS Using the FDM Process. *Virtual and Physical Prototyping*, 13(3), 155-163.
4. Rajpurohit, S.R., Dave, H.K., 2019. Analysis of Tensile Strength of a Fused Filament Fabricated PLA Part Using an Open-source 3D Printer. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101, 1525-1536.
5. Uzun, M., Erdoğan, Y.E., 2020. Eriyik Yığıma Modellemesi ile Üretimde Takviyesiz ve Takviyeli PLA Kullanımının Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(4), 2800-2808.
6. Ando, M., Biroş, M., Jeganmohan, S., 2021. Surface Bonding of Additive Manufactured Parts from Multi-colored PLA Materials. *Measurement*, 169, 108583.
7. Rodríguez-Panes, A., Claver, J., Camacho, A.M., 2018. The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis. *Materials*, 11(1333), 1- 21.
8. Tezel, T., Ozenc, M., Kovan, V., 2021. Impact Properties of 3D-printed Engineering Polymers. *Materials Today Communications*, 26, 102161.
9. Sood, A.K., Ohdar, R.K., Mahapatra, S.S., 2010. Parametric Appraisal of Mechanical Property of Fused Deposition Modelling Processed Parts. *Materials and Design*, 31, 287-295.
10. Liu, C.H., Chen, Y., Yang, S.Y., 2021, Quantification of Hyperelastic Material Parameters for a 3D-Printed Thermoplastic Elastomer with Different Infill Percentages. *Materials Today Communications*, 26, 101895.
11. Tatlı, O., Özgül, H.G., 2020. Üç Boyutlu Yazıcı Tasarımı, İmalatı ve Dolgu Geometrisinin Mekanik Özelliklere Etkisi. *Icontech International Journal of Surveys. Engineering, Technology*, 4, 1, 13-24.
12. Akhoundi, B., Behraves, A.H., 2019. Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products. *Experimental Mechanics*, 59, 883-897.
13. Haldar, A.K., Managuli, V., Munshi, R., Agarwal, R.S., Guan, Z.W., 2021. Compressive Behaviour of 3D Printed Sandwich Structures Based on Corrugated Core Design. *Materials today communications*, 26, 101725.
14. Solmaz, M.Y., Çelik, E., 2018. 3 Boyutlu Yazıcı Kullanılarak Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Basma Yükü Altındaki Performanslarının Araştırılması. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 30, 1, 277 – 286.
15. Chacon, J.M., Caminero, M.A., Garcia-Plaza, E., Nunez, P.J., 2017. Additive Manufacturing of PLA Structures Using Fused Deposition Modelling: Effect of Process Parameters on Mechanical Properties and Their Optimal Selection. *Materials and design*, 124, 143 -157.
16. 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).
17. 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).
18. ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/D0790-17>.
19. Ultimaker ABS SDS, (2017). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962900-Ultimaker-ABS-SDS> (Erişim Tarihi: 15.02.2021).
20. Ultimaker ABS TDS, (2018). Erişim Adresi: <https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759139-Ultimaker-ABS-TDS> (Erişim Tarihi: 15.02.2021).

3 Boyutlu Yazıcı ile Farklı Yazdırma Parametreleri Kullanılarak Üretilen Eğme Test Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

- 21.** Ultimaker PLA SDS, (2019). Erişim Adresi:
<https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360012759359-Ultimaker-PLA-SDS>
(Erişim Tarihi: 15.02.2021).
- 22.** Ultimaker PLA TDS, (2018). Erişim Adresi:
<https://support.ultimaker.com/hc/en-us/articles/360011962720-Ultimaker-PLA-TDS>
(Erişim Tarihi: 15.02.2021).
- 23.** Dezaki, M.L., Ariffin, M.K.A.M., 2020. The Effects of Combined Infill Patterns on Mechanical Properties in FDM Process, *Polymers*, 12, 1-20.