



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Ergiyik yığıma modelleme yöntemi ile üretilen numunelerde örme yönteminin ve baskı yönünün mukavemete olan etkisi

The effect of knitting method and printing direction on strength in test samples produced by fused deposition modelling (fdm) method

Yazar(lar) (Author(s)): Bekir KARAKOÇ¹, Gültekin UZUN²

ORCID¹: 0000-0003-1421-3632

ORCID²: 0000-0002-6820-8209

To cite to this article: Karakoç B., Uzun G., “Ergiyik yığıma modelleme yöntemi ile üretilen numunelerde örme yönteminin ve baskı yönünün mukavemete olan etkisi”, *Journal of Polytechnic*, 27(4): 1233-1242, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Karakoç B., Uzun G., “Ergiyik yığıma modelleme yöntemi ile üretilen numunelerde örme yönteminin ve baskı yönünün mukavemete olan etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 27(4): 1233-1242, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1262855

Ergiyik Yığıma Modelleme Yöntemi ile Üretilen Numunelerde Örmeye Yönteminin ve Baskı Yönünün Mukavemete Olan Etkisi

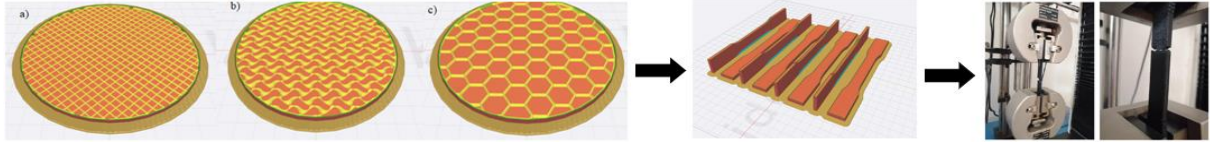
The Effect of Knitting Method and Printing Direction on Strength in Test Samples Produced by Fused Deposition Modelling (FDM) Method

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ FDM yönteminde örmeye yöntemlerinin mukavemete etkisi / The effect of knitting methods on strength in FDM method
- ❖ Çekme numunelerinde baskı yönünün mukavemete etkisi / The effect of production direction on strength in tensile specimens
- ❖ Çekme test numunelerinin incelenmesi / Investigation of of tensile test specimens

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Seçilen üç farklı örmeye yöntemi seçilerek numuneler yatay ve dikey baskı yönlerinde ergiyik yığıma modelleme yöntemi ile üreterek çekme testlerine tabi tutulmuştur. Polilaktik asit (PLA) malzemelerinde örmeye yöntemi ve baskı yönü parametrelerinin mukavemete olan etkisi incelenmiştir.



Şekil. Çalışmanın genel diyagramı / Figure. General diagram of the article

Amaç (Aim)

PLA malzemelerinde örmeye yöntemi ve baskı yönünün mukavemete etkisi / The effect of knitting method and printing direction on strength in PLA materials

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

FDM yönteminde örmeye yöntemi ve baskı yönü / Knitting method and printing direction in FDM method

Özgünlük (Originality)

Seçilen üç farklı örmeye yöntemiyle yatay ve dikey olarak üretilen 24 adet test numunesi çekme testlerine maruz bırakılmış ve mukavemet özelliklerinin yanında numunelerin fiziksel özellikleride incelenmiştir / 24 test samples produced horizontally and vertically with three different knitting methods were subjected to tensile tests and physical properties of the specimens were investigated as well as their strength properties.

Bulgular (Findings)

PLA malzemesinden üretilen numunelerde örmeye yöntemi ile beraber üretim yönününde mukavemet değerlerini etkilediği gözlemlenmiştir / It has been observed that in the samples produced from PLA material, it affects the strength values in the direction of production together with the knitting method.

Sonuç (Conclusion)

Çekme test numuneleri çekme dayanımı bakımından incelendiğinde en fazla çekme dayanımı değerinin (21,242 MPa) dönel çizgili (gyroid) örmeye yöntemiyle dikey yerleşimli numuneler olduğu, en düşük çekme dayanımı değerinin (17,262 MPa) ise düz çizgili örmeye yöntemi ile yatay olarak üretilen test numunelerine ait olduğu gözlemlenmiştir / When the tensile test samples were examined in terms of tensile strength, it has been observed that the highest tensile strength value (21,242 MPa) was the vertically placed samples with the gyroid knitting method, and the lowest tensile strength value (17,262 MPa) belonged to the test samples produced horizontally by the rectilinear knitting method.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Ergiyik Yığıma Modelleme Yöntemi ile Üretilen Numunelerde Örme Yönteminin ve Baskı Yönünün Mukavemete Olan Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Bekir KARAKOÇ¹, Gültekin UZUN²

¹Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Sistem Test Mühendisliği, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 09.03.2023; Kabul/Accepted : 31.03.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 01.06.2023)

ÖZ

Eklemeli imalat mukavemetli ve hafif parçaların üretilmesini sağlayan geleneksel olmayan bir üretim yöntemidir. Üretilen malzemelerde bu özelliklerin oluşturulması için malzeme üretim parametreleri büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada, ergiyik yığıma modelleme (FDM - fused deposition modelling) esaslı üç boyutlu yazıcı kullanılarak polilaktik asit (PLA) filamentten üretilen çekme testi numunelerinin örme yöntemi ve baskı yönlerinin mukavemete olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak ASTM D638 Tip I standartına göre çekme test numuneleri hazırlanmış ve numuneler üç farklı örme yöntemiyle ve aynı doluluk oranlarında, yatay ve dikey yerleşimlerde olacak şekilde üretilmiştir. Sonrasında ise üretilen tüm numuneler deformasyon, uzama oranı, maksimum yük, akma dayanımı, çekme dayanımı ve kopma dayanımı açısından incelenmiştir. Yatay yerleşimli test numunelerinin dikey yerleşimli test numunelerine oranla daha fazla maksimum yüke dayanabildiği gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı bakımından en fazla çekme dayanımı değerinin (21,242 MPa) dönele çizgili (gyroid) örme yöntemiyle dikey yerleşimli numuneler olduğu, en düşük çekme dayanımı değerinin (17,262 MPa) ise düz çizgili (rectilinear) örme yöntemi ile yatay olarak üretilen test numunelerine ait olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3D baskı, FDM, akma dayanımı, örme yöntemi, PLA.

The Effect of Knitting Method and Printing Direction on Strength in Test Specimens Produced by Fused Deposition Modelling (FDM) Method

ABSTRACT

Additive manufacturing is a non-traditional production method that allows the production of high-strength and lightweight parts. Material production parameters are of great importance for the creation of these properties in the materials produced. In this study, the effects of knitting method and printing aspects on the strength of tensile test samples produced from polylactic acid (PLA) filament using a three-dimensional printer based on fused deposition modeling (FDM) were investigated. For this purpose, first of all tensile test samples were first prepared according to ASTM D638 Type I standard and the samples were produced with three different knitting methods and the same occupancy rates, horizontal and vertical placement. Afterwards, all the samples produced were examined in terms of deformation, elongation rate, maximum load, yield strength, tensile strength and tensile strength. It has been observed that horizontally placed test samples can withstand more maximum load than vertically placed test samples. It was observed that the highest tensile strength value in terms of tensile strength (21,242 MPa) was for vertically placed samples with gyroid knitting method, while the lowest tensile strength value (17,262 MPa) belonged to test samples produced horizontally with rectilinear knitting method.

Keywords: 3D printing, FDM, tensile strength, knitting method, PLA.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Üç boyutlu baskı teknolojisi olarak da bilinen eklemeli imalat bir diğer adıyla katmanlı imalat, daha güçlü ve daha hafif parçaların veya sistemlerin üretilmesini sağlayan geleneksel olmayan bir üretim yöntemi olarak tanımlanabilir. Eklemeli imalatta üretim, geleneksel

imalat yöntemlerinde bulunan malzeme eksilterek üretim mantığının aksine kesici takıma vb. ekipmanlara ihtiyaç duyulmadan malzemenin katman katman birbiri üzerine serilerek eklenmesi ile gerçekleşmektedir [1-4]. Geleneksel imalat yöntemlerindeki gibi kesici takım gibi araçların kullanılmaması sayesinde takım maliyeti gibi bileşenler rahatlıkla gözardı edilebilmektedir. Eklemeli imalat geleneksel imalat yöntemleri ile kıyaslandığında, üretilen parçaların tasarım ve üretim süreçleri azalmakta

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : bekirkarakoc66@gmail.com

ve bu durum üretim maliyeti gibi etmenleri doğrudan azaltmaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri; otomotiv, sağlık, havacılık, inşaat, eğitim gibi farklı alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [5-6]. Eklemeli imalat yöntemlerindeki hızlı gelişmeler, tasarım ve üretim

rahatlıkla üretilen kafesli yapı tasarımları bunun en müthiş örneğidir. Tasarımlarda kafesli yapıların kullanılma sebebi; geleneksel katı formdaki malzemeleri değiştirmek, parçayı hafifletmek ve parçanın fonksiyonel özelliklerini arttırmaktır. Ergiyik yığıma modelleme (FDM) yöntemi, parçaların mekanik özellikleri üzerinde oldukça önemli etkilere sahiptir. Seçilen parametrelerin mekanik performans üzerindeki etkilerinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Ergiyik yığıma modelleme yönteminde malzemenin dayanım vb. gibi malzeme özelliklerini etkileyen çok sayıda parametre mevcuttur [7 - 10]. Ergiyik Yığıma modelleme yönteminde parçaların performansları ve kaliteleri üzerinde işlem parametrelerinin (tarama açısı, tarama genişliği katman kalınlığı, dolgu yoğunluğu, baskı yönü ve üretim hızı) önemli bir etkisi vardır [11-12].

Bu çalışma diğer çalışmalardan temel farkı örme yöntemlerinin yanında yatay ve dikey üretimlerin yapılması ile beraber sadece örme tipinin birbirleri ile kıyaslanmasıyla yetinilmemiş olup yatay ve dikey konumlandırmanın önemini mukavemet özelliklerine etkileri de araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE SURVEY)

Eklemeli imalat alanında yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde; Sood vd. yapmış oldukları çalışmada karmaşık geometriye sahip yüzeylerin üretiminde ergiyik yığıma modelleme yönteminin başarılı bir metod olduğunu vurgulanmıştır. [13]. Wang vd. yaptıkları çalışmada parçaların iç hacimlerini azaltmış ve doldurma şekillerini değiştirerek ürünlerin maliyetlerini düşürmüşlerdir [14]. Wilson yaptığı çalışmada farklı örme şekilleri ile üretilen parçaların gerilme yığılma dağılımlarını incelemiş ve hücrelerin yoğunluklarına göre gerilme yığılmalarının değiştiğini gözlemiştir [15]. Uzun vd. yaptıkları çalışmada üretilen numunelerin tarama desenlerine göre çapraz açılı tarama deseninden sonra yatay numunelerin mukavemet değerlerinin dikey numunelere oranlara daha yüksek çıktığı gözlemiştir [16]. Koç yaptığı çalışmada, PLA'a malzemesinin çekme dayanımının, belirlenen katman kalınlıkları ve doluluk oranları içerisinde Re-PLA'dan yüksek çıktığını gözlemiştir [17]. Öztürk yaptığı çalışmada, girintili, bal peteği, üçgen ve yıldız tipinde dört farklı sandviç yapı tasarlayarak basma, üç nokta eğme ve çarpışma test sonuçlarını inceleyerek en iyi statik ve dinamik özellikleri sergileyen modelleri belirlemiştir [18]. Efe yaptığı çalışmada, üç boyutlu üretim teknolojisinin avantajlarını kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ve testler ile parça üzerinde tespit edilen ve güçlü olmayan bölgelere iyileştirmeler yapmış

sürecinde büyük kolaylıklar sağlamış ve önemli değişikliklere sebep olmuştur. Eklemeli imalat teknolojisinin gelişmesiyle en karmaşık geometrideki parçalar dahi rahat bir şekilde üretilebilir duruma gelmiştir. Eklemeli imalat yöntemleri vasıtasıyla

ve parçaların mukavemet özelliklerinin olumlu yönde iyileştiğini gözlemiştir [19]. Özgül vd. yaptıkları çalışmada, beş farklı iç örme geometrisine sahip PLA malzemesinden üretilen test numunelerine üç nokta eğilme, darbe ve çekme testleri yaparak iç dolgu geometrilerinin mukavemet özelliklerine olan etkilerini incelemiştir [20]. Çelik ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bal peteği yapıları sandviç kompozitlerin üç nokta eğilme ve basma kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarını sayısal ve deneysel olarak incelemiş ve altıgen petek hücre yüksekliğinin artmasına bağlı olarak basma dayanımının azaldığı, eğilme mukavemetinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır [21]. İpekçi vd. yaptıkları çalışmada, doğrusal dolum ile üretilen numunelerin, altıgen ve üçgen yapıları numunelere göre daha fazla mukavemete ve yüzde uzama değerlerine sahip olduğunu ve düz çizgili örme tipiyle üretilen numunelerin mukavemet değerlerinin diğer örme tiplerine göre yaklaşık %15 oranında daha fazla çıktığını gözlemiştir [22]. Karaman vd. yaptıkları çalışmada, farklı doluluk yüzdelerinde ve farklı yerleşim açılarında numuneler üretilmiş ve çekme testlerine maruz bırakılmış ve doluluk oranının artmasının çekme mukavemet değerlerinde %70 oranına yakın, elastisite modülünde ise %60 oranında artışa sebebiyet verdiğini ve mekanik özelliklerin iyileştiğini gözlemiştir [23]. Elmas vd. yaptıkları çalışmada, PLA filamanet kullanarak farklı basım yönlerinde çekme test numuneleri üreterek baskı yönünün elastisite modülü ve çekme dayanımı için önemli oranda değişikliklere sebep olduğu ve bu değişikliklerin numunelerin üretiminde kullanılan malzemenin ölçüsüyle doğrudan orantısı olmayıp numunelerin kesitlerinin incelenmesiyle ortaya çıkan yapıların farklılıklarından kaynaklandığı gözlemiştir [24]. Efe, yük taşıma sistemlerinde kullanılan yapının doluluk oranı ve iç örme yapısı gibi üretim parametrelerinde değişiklikler yaparak eklemeli imalat teknolojisiyle üretilmiş ve yapının yük taşıma kabiliyetini araştırmış ve doluluk oranlarının değişimlerine bağlı olarak düz çizgili örme tipinin bal peteği örme tipine göre yaklaşık %20 oranında daha fazla taşıma kabiliyeti sahip olduğu görülmüştür [25]. Polat ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, numuneleri çekme testine tabi tutarak mekanik özelliklerini incelenmiş ve %100, %80, %60, %40 ve %20 doluluk oranlarında yapılan baskıların sonucunda, doluluk oranının yükselmesiyle birlikte parça mukavemet özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir [26]. Günay ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ergiyik yığıma modelleme (FDM) tabanlı üç boyutlu bir yazıcı kullanarak test numunelerinin mekanik özelliklerini doluluk oranı, baskı hızı ve tarama açısının etkileri araştırmışlar ve çekme dayanımı üzerinde en etkin parametre doluluk oranı

olurken, en az etileyen parametrenin ise baskı hızı parametresi olduğunu gözlemlemiştirler [27]. Evlen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, üç boyutlu yazıcıda üretilen test numunelerinin doluluk oranının parçanın mukavemet özelliklerine etkilerini incelemişer ve PET ve PLA malzemelerin %50, %40, %30, %20 ve %10 doluluk oranlarında mekanik test numuneleri üretmişlerdir. Üretilen numuneler çekme testleri tabi tutularak, pürüzlülük ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Yapılan testler neticesinde PLA ve PET malzemelerde sertlik değerinin malzemenin doluluk oranı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlemiştirler [28]. Bunların dışında farklı takviye elemanı ve matris malzemeleriyle biyo ve nano kompozitler hazırlayıp, bunların üç boyutlu yazıcılardaki uygulamalarını araştıran çalışmalar da literatürde mevcuttur [29-32].

Bu çalışmada, PLA (Polilaktik Asit) filament malzemesi kullanılarak farklı örme yöntemi ve farklı konumlandırma parametreleri değiştirilerek; ASTM D638 Tip I standardına uygun çekme testleri icra edilmiştir. Örme yöntemi olarak rectilinear yani düz çizgili (çalışmada rec olarak kısaltılmıştır), gyroid yani dönele çizgili (çalışmada gyr olarak kısaltılmıştır) ve honeycomb yani bal peteği (çalışmada hon olarak kısaltılmıştır) olmak üzere üç farklı örme yöntemi belirlenmiştir. İkinci parametre olarak ise numuneler yazıcıda yatay yada dikey olarak üretilmiştir. Her bir örme yöntemi için yatay yerleşimli 4 adet ve dikey yerleşimli 4 adet olmak üzere bir örme yöntemi için 8 adet numune toplam üç adet örme yöntemi için ise 24 adet çekme test numunesi üretilmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda ise her bir numune için mühendislik gerilme-gerinim grafikleri, deformasyon miktarı (mm), uzama oranı (%), maksimum yük (N) ve akma dayanımı (N/mm^2), çekme dayanımı (N/mm^2) ve kopma dayanımı (N/mm^2) değerleri elde edilmiştir. Böylece örme yönteminin ve yazıcıya olan yerleşimin malzemenin mukavemet özelliklerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışma literatür de yapılan diğer çalışmalar bakımından incelendiğinde dikey numunelerin yatay numunelere kıyasla mukavemet özelliklerinin daha yüksek çıktığı Uzun vd. yaptığı çalışmaya benzer sonuçlar çıktığı gözlemlenmiştir [16]. Çalışma literatürdeki diğer çalışmalardan farklılık açısından değerlendirildiğinde ise literatürdeki çalışmaların genellikle doluluk oranı açısından incelendiği gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

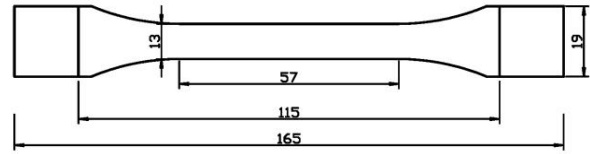
3.1.Kullanılan Malzeme ve Üretim Parametreleri (Materials Used and Production Parameters)

Çalışmada, Raise firması tarafından imal edilen 1,75 mm Premium PLA Filament 1000 gr[33] malzeme kullanılmıştır (Çizelge 1). Çalışmada kullanılan

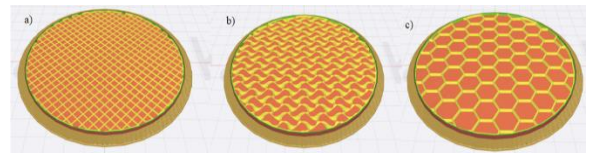
filamente ait mekanik özellikler Çizelge 1’de sunulmuştur. Çekme testleri için ASTM D638 Tip I [34] (Şekil 1) standardına uygun numuneler tasarlanmış olup, PLA esaslı test numuneleri 0,4 mm nozul çapına ve $305 \times 305 \times 605$ mm baskı hacminde sahip olan Raise marka 3D yazıcıda üretilmiştir. Numunelerin üretiminde düz çizgili, dönele çizgili ve bal peteği tipi olmak üzere üç farklı örme yöntemi kullanılmıştır (Şekil 2). Çizimleri “Catia V5” programı ile yapılan çekme numuneleri, “STL (Stereolithography)” uzantısında kayıt edilerek, “Ideamaker 4.0.1” [35] yazılımında açılmış ve numunelerin üç boyutlu yazıcıya yerleşimleri yatay ve dikey olacak şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3).

Çizelge 1. PLA filamentin özellikleri (Properties of PLA filament)

RAISE 3D Premium Flament Özellikleri	
Marka	Raise3D
Model	Premium
Malzeme	PLA
Çap	1,75 mm
Yazıcı Sıcaklığı	205 – 235 °C
Yoğunluk	1,2 g/cm ³ (21,5 °C)
Erime Sıcaklığı	150,9 °C

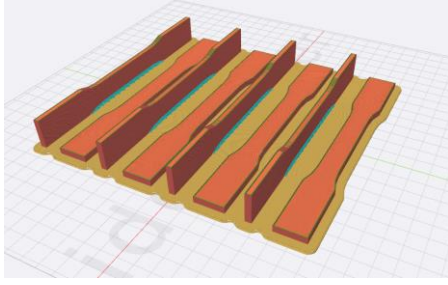


Şekil 1. ASTM D638 Tip I Numune Ölçüleri (ASTM D638 Type I Test Specimen Dimension)



Şekil 2. Kullanılan örme yöntemleri a) düz çizgili, b) dönele çizgili, c) bal peteği

Numuneler tablaya iki farklı yönde yatay ve dikey olarak konumlandırılmıştır. Çekme testi numuneleri dikdörtgen kesitli olup, ASTM D638 Tip I standardında uygun şekilde 3,2 mm kalınlık ve 165 mm boyunda üretilmiştir. Test numuneleri farklı örme yöntemleri ile üretilmenin yanında yatay ve dikey olarak üretilmiştir. Böylece çalışmaya örme yöntemi dışında yerleşim yönü olmak üzere ikinci bir parametre dâhil edilmiştir.



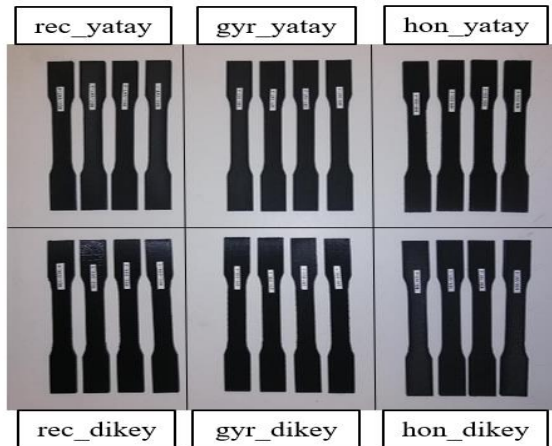
Şekil 1. Numunelerin 3D yazıcıya yerleşimi (Placement of samples in 3D printer)

Çalışma kapsamından doluluk oranı (%20), nozul çapı (0,40 mm), nozul sıcaklığı (300 °C), katman kalınlığı (0,20 mm) parametreleri sabit tutulmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sabit Tutulan ve Değişken Parametreler (Fixed and Variable Parameters)

Sabit Tutulan Parametreler		Değişken Parametreler	
Doluluk Oranı	%20	Örme Tipi	Düz çizgili
Nozul Çapı	0,40 mm		Dönel çizgili
Nozul Sıcaklığı	300 °C		Bal peteği
Katman Kalınlığı	0,20 mm	Baskı Yönü	Yatay
Doluluk Oranı	%20		Dikey

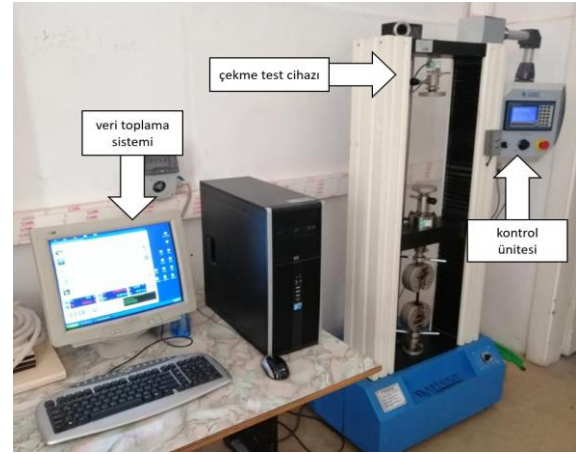
Düz çizgili yatay (4 adet test numunesi), düz çizgili dikey (4 adet test numunesi), dönel çizgili yatay (4 adet test numunesi), dönel çizgili dikey (4 adet test numunesi), bal peteği yatay (4 adet test numunesi) ve bal peteği dikey (4 adet test numunesi) olmak üzere toplam 24 adet test numunesi üretilmiştir (Resim 1).



Resim 1. Test edilen çekme numuneleri (Tested tensile specimens)

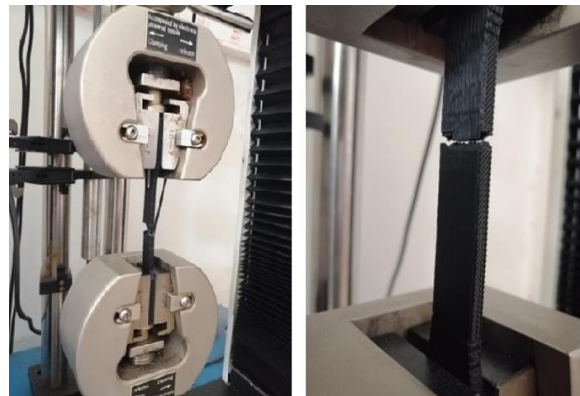
3.2. Çekme Test Cihazı (Tension Testing Machine)

Üretilen çekme test numuneleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan UTEST markasına ait PROFI X6 model numaralı çekme test cihazında testlere tabi tutulmuştur. Cihaz görseli Resim 2’de sunulmuştur.



Resim 2. UTEST PROFI X6 Çekme Test Cihazı (Tension Testing Machine)

Toplanan veriler kullanılarak her bir numuneye ait mühendislik gerilme-gerinim grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerden deformasyon miktarı (mm), uzama oranı (%), maksimum yük (N) ve akma dayanımı (N/mm²), çekme dayanımı (N/mm²) ve kopma dayanımı (N/mm²) değerleri elde edilmiştir. Test numuneleri örme yöntemlerine ve baskı yönlerine göre markalama yapılarak çekme testlerine tabi tutulmuştur.



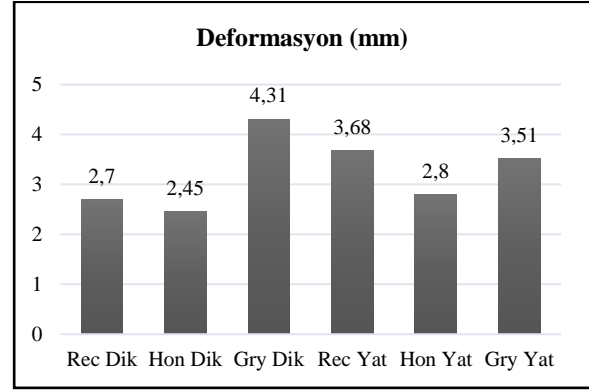
Resim 3 Test numunesinin cihaza bağlanmış görseli (Connection of test sample)

4. UYGULAMA (CASE STUDY)

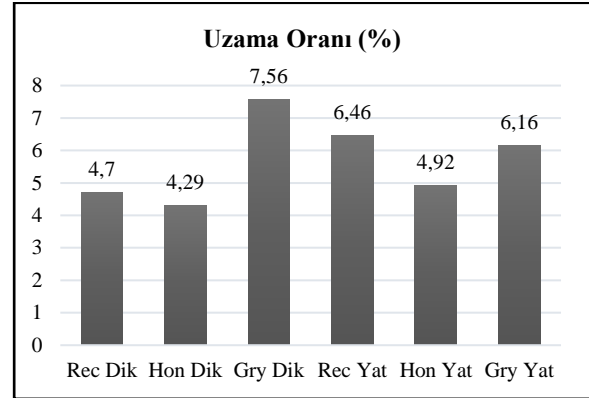
4.1 Çekme Testi Sonuçları (Tensile Test Results)

Aynı doluluk oranlarına (bu çalışmada doluluk oranı %20 olarak sabit alınmıştır) sahip ve 3D üretim parametreleri aynı olan parçaların sadece örme yöntemleri ve üretim yönleri değişiminden elde edilen veriler incelenmiştir. Her bir örme yöntemi ve üretim yönü için test edilen dörder adet numune üretilerek toplamda 24 test yapılmış ve her bir örme yöntemi ve yerleşim yönü için dört adet test numunesinin ortalama değerleri alınarak Şekil 4 – Şekil 6 oluşturulmuştur. Ölçüm sonuçlarının daha kolay anlaşılması için deformasyon miktarı (mm), uzama oranı (%), maksimum yük (N), akma dayanımı (N/mm²), çekme dayanımı (N/mm²) ve kopma dayanımı (N/mm²) değerlerini içeren grafikler aşağıda sunulmuştur.

Çekme test numuneleri deformasyon bakımından incelendiğinde en fazla deformasyonun (4,31 mm) dönel çizgili örme yöntemli dikey yerleşimli numune de olduğu, en az deformasyonun (2,45 mm) ise bal peteği örme yöntemi ile dikey olarak üretilen test numunesine ait olduğu gözlemlenmiştir. Deformasyon bakımından max ve min değerleri arasında yaklaşık %43'lük bir fark olduğu görülmüştür. Çekme test numuneleri uzama yüzdesi bakımından incelendiğinde en fazla uzama yüzdesinin (%7,56) dönel çizgili örme yöntemli dikey yerleşimli numune olduğu, en az uzama yüzdesinin (%4,29) ise bal peteği örme yöntemi ile dikey olarak üretilen test numunesi ait olduğu gözlemlenmiştir. Uzama oranı bakımından maksimum ve minimum değerler arasında yaklaşık %43 lük bir fark olduğu görülmüştür. Çekme test numuneleri maksimum yük bakımından incelendiğinde en fazla maksimum yük değerinin (1177,66 N) dönel çizgili örme yöntemli dikey yerleşimli numune olduğu, en az maksimum yük değerinin (983,66 N) ise düz çizgili örme yöntemi ile yatay olarak üretilen test numunesi ait olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum yük açısından incelendiğinde max ve min değerler arasında yaklaşık %16 lık bir fark olduğu görülmüştür.



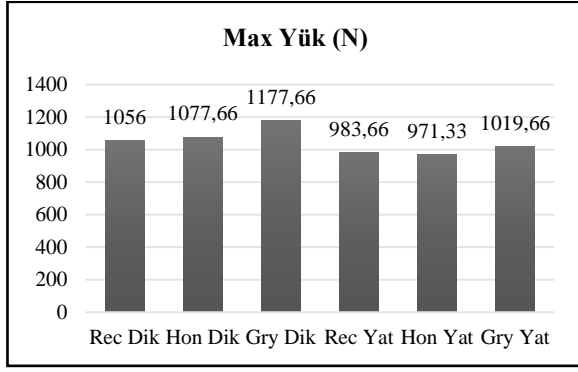
(a)



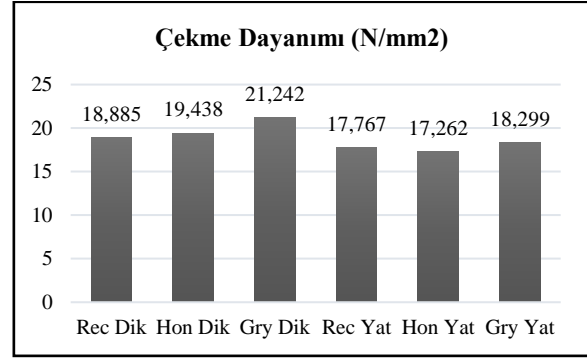
(b)

Şekil 2. Test numunelerinin deformasyon (a) ve uzama oranı (b) kıyaslanma grafikleri. (Comparison of deformation and elongation rate of test specimens)

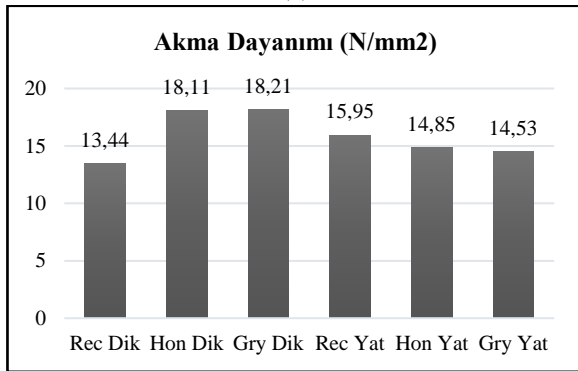
Çekme test numuneleri akma dayanımı bakımından incelendiğinde en fazla akma dayanımı değerinin (18,21 MPa) dönel çizgili örme yöntemli dikey yerleşimli numune olduğu, en düşük akma değerinin (13,44 MPa) ise düz çizgili örme yöntemi ile dikey olarak üretilen test numunesi ait olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bal peteği örme yöntemi ile dikey olarak üretilen test numunesi akma dayanımı değerinin (18,11 MPa) dönel çizgili örme yöntemli dikey yerleşimli numunelerin akma dayanımı değerine (18,21 MPa) oldukça benzer olduğu gözlemlenmiştir. Akma dayanımı açısından incelendiğinde max ve min değerler arasında yaklaşık olarak %26 lık bir fark olduğu görülmüştür.



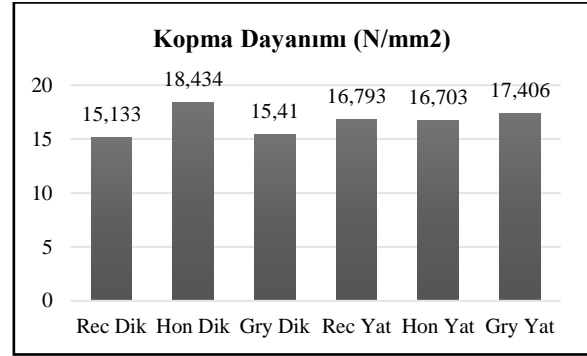
(a)



(a)



(b)



(b)

Şekil 3. Test numunelerinin (a) maksimum yük ve (b) akma dayanımı kıyaslamaları grafikleri. (Comparison of maximum load and yield strength of test specimens)

Çekme test numuneleri çekme dayanımı bakımından incelendiğinde en fazla çekme dayanımı değerinin (21,242 MPa) dönel çizgili örme yöntemi dikey yerleşimli numuneler olduğu, en düşük çekme dayanımı değerinin (17,262 MPa) ise düz çizgili örme yöntemi ile yatay olarak üretilen test numunelerine ait olduğu gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı açısından incelendiğinde max ve min değerler arasında yaklaşık %18 lik bir fark olduğu görülmüştür. Çekme test numuneleri kopma dayanımı bakımından incelendiğinde en fazla kopma dayanımı değerinin (18,434 MPa) bal peteği örme yöntemi dikey yerleşimli numuneler olduğu, en düşük kopma dayanımı değerlerinin (15,133 MPa) ise dönel çizgili örme yöntemi ile dikey olarak üretilen test numunelerine ait olduğu gözlemlenmiştir. Kopma dayanımı açısından incelendiğinde max ve min değerler arasında yaklaşık olarak %17 lik bir fark olduğu görülmüştür.

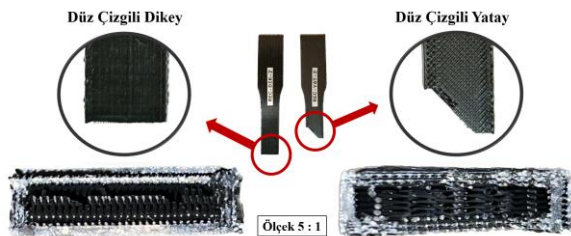
Şekil 6. Test numunelerinin çekme dayanımı (a) ve kopma dayanımı (b) karşılaştırması grafikleri. (Comparison of tensile strength of test specimens)

Çıkan sonuçlar doğrultusunda yatay baskı üretimli numunelerde doluluk oranına bağlı olarak düz çizgili dolgu deseninin bal peteği dolgu desenine göre daha yüksek taşıma kabiliyeti sağladığı görülmüştür. Literatürde de bal peteği dolgu deseninin daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [25].

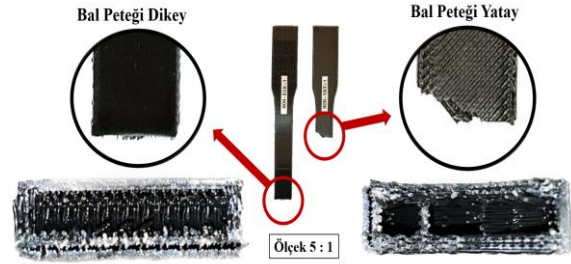
4.2 Numune Yüzeylerinin İncelenmesi (Inspection of Sample Surfaces)

Bu başlık altında üretilen 24 adet çekme test numunesinin kırılma yüzeyleri detaylı olarak incelenmiştir. Örme yöntemlerinden bağımsız olarak dikey numunelerin gevrek kırılma tipine daha yakın bir davranış sergilediği yatay numunelerin ise dikey numunelere nispeten daha sünek bir davranış sergileyerek kırıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 7’de görüldüğü üzere düz çizgili çekme numuneleri detaylı olarak incelendiğinde dikey olarak üretilen numunenin yatay olarak üretilen numuneye kıyasla fazla plastik deformasyon meydana gelmeden kırıldığı ve uzama oranı test sonuçlarına göre ise yatay numuneye oranla %27 daha az uzama oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yatay yerleşimli numunenin plastik deformasyona izin verecek şekilde uzadığı ve örme

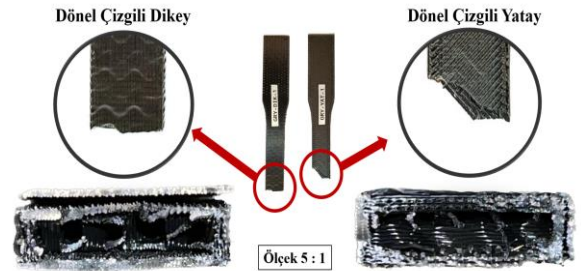
ağındaki kesişim yüzeylerinden kırıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 8’de görüldüğü üzere bal peteği çekme numuneleri detaylı olarak incelendiğinde dikey olarak üretilen numunenin yatay olarak üretilen numuneye kıyasla fazla plastik deformasyon meydana gelmeden kırıldığı ve uzama oranı test sonuçlarına göre ise yatay numuneye oranla %13 daha az uzama oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Dikey numunenin yatay yerleşimli numunenin plastik deformasyona izin verecek şekilde uzadığı ve yatay numunede örme ağındaki kesişim yüzeylerinden kırıldığı da açıkça gözlemlenmiştir. Ancak dikey numunenin yatay numuneye oranla akma dayanımı bakımından %18, çekme dayanımı bakımından %11, kopma dayanımının bakımından ise %9 oranında daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Dikey numunenin dayanım değerleri açısından yüksek olmasının sebebinin çekme test numunesi kesit alanında yatay numuneye oranla daha fazla temas yüzeyi oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 9 da görüldüğü üzere dönele çizgili çekme numuneleri detaylı olarak incelendiğinde ise düz çizgili ve bal peteği örme yönteminin aksine yatay olarak üretilen numunenin dikey olarak üretilen numuneye kıyasla fazla plastik deformasyon meydana gelmeden kırıldığı ve uzama oranı test sonuçlarına göre ise yatay numuneye oranla %14 daha fazla uzama oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Dikey numunenin yatay yerleşimli numunenin plastik deformasyona izin verecek şekilde uzadığı ve yatay numunede örme ağındaki kesişim yüzeylerinden kırıldığı da açıkça gözlemlenmiştir. Ancak dikey numunenin yatay numuneye oranla akma dayanımı bakımından %20, çekme dayanımı bakımından %13 daha yüksek olduğu, kopma dayanımının bakımından ise %11 oranında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Dikey numunenin akma ve çekme dayanım değerleri açısından yüksek olmasının sebebinin çekme test numunesi kesit alanında yatay numuneye oranla daha fazla temas yüzeyi oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. Düz çizgili Çekme Test Numunesinin Yüzey İncelemesi (Detailed Inspection of the Surfaces of the Rectilinear Test Specimen)



Şekil 9. Bal peteği Çekme Test Numune Yüzey İncelemesi (Detailed Inspection of the Surfaces of the Honeycomb Test Specimen)

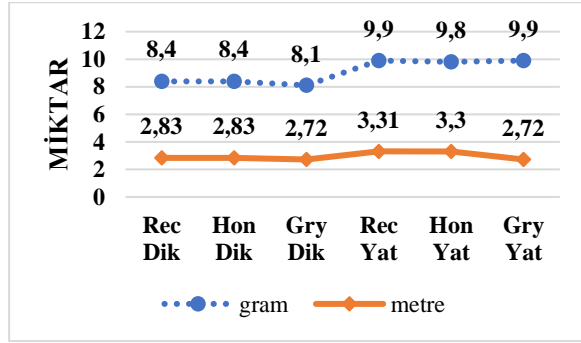


Şekil 10. Dönele çizgili Çekme Test Numune Yüzey İncelemesi (Detailed Inspection of the Surfaces of the Gyroid Test Specimen)

4.3 Numuneler Arasındaki Fiziksel Farklılıklar (Physical Differences Between Samples)

Çalışmada örme yöntemi ve baskı yönleri dışındaki tüm parametreler sabit tutulmuştur. Ancak test sonuçlarına doğrudan katkısı olduğu düşünülen numunelerin iç hacimlerdeki doluluk oranlarının kabaca anlaşılabilmesi için kullanılan filament miktarı gram ve metre bakımından da incelenmiştir. İlgili ölçüm sonuçları Şekil 11’de sunulmuştur. Şekil 11 detaylı olarak incelendiğinde örme yönteminden bağımsız olarak, yatay numunelerin üretimi için kullanılan filament miktarının dikey numunelerin üretimi için kullanılan filament oranla %15 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan filament miktarı bakımından hem gramaj hemde metre cinsinden; Düz çizgili dikey numune ile Bal peteği dikey numunelerin kullanılan gramaj ve metraj bilgilerinin aynı olduğu ancak dönele çizgili örme yöntemli dikey numunenin üretiminde ise düz çizgili dikey ve bal peteği dikey numunelerin üretimlerine kıyasla yaklaşık %4 oranında daha az gramajda ve metrajda filament kullanıldığı gözlemlenmiştir. Kullanılan filament miktarı gramajları bakımından; Düz çizgili yatay numune ile dönele çizgili yatay numunelerin kullanılan gramaj bilgilerinin aynı olduğu ancak bal peteği örme yöntemli yatay numunenin üretiminde ise düz çizgili yatay ve

dönel çizgili yatay numunelerin üretimlerine kıyasla yaklaşık %1 oranında daha fazla gramajda filament kullanıldığı gözlemlenmiştir. Kullanılan filament miktarları metre cinsinden incelendiğinde ise; Düz çizgili yatay numunenin en fazla değere en az değere ise dönel çizgili yatay numunenin sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu aradaki fark yaklaşık olarak %18 lik bir farka denk gelmektedir.



Şekil 11. Numuneler Arasındaki Fiziksel Farklılıklar (Physical Differences Between Samples)

Kullanılan malzeme miktarının dayanımlara etkisinin doğrudan desteklemediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuç Elmas vd. [24] yaptıkları çalışma ile benzer sonuçlar ortaya çıkarmıştır.

4.4 Baskı Yönünün Etkisi (Effect of Production Direction)

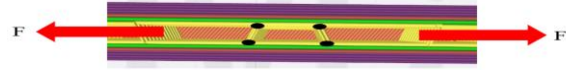
Her bir örme yöntemi için baskı yönlerine göre alınan kesit resimleri aşağıda sunulmuştur [Şekil 11 – Şekil 16]. Yatay ve dikey yerleşimli numunelerin kesitleri detaylı olarak incelendiğinde, dikey yerleşimli numune kesitinin daha sık ve tok yapıya sahip olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 12. Düz çizgili Dikey Numune Kesiti (Rectilinear Vertical Section)



Şekil 13. Düz çizgili Yatay Numune Kesiti (Rectilinear Horizontal Section)



Şekil 14. Bal peteği Dikey Numune Kesiti (Honeycomb Vertical Section)



Şekil 15. Bal peteği Yatay Numune Kesiti (Honeycomb Horizontal Section)



Şekil 16. Dönel çizgili Dikey Numune Kesiti (Gyroid Vertical Section)



Şekil 17. Dönel çizgili Yatay Numune Kesiti (Gyroid Horizontal Section)

Düz çizgili örme yöntemli numunede kuvvetlerin geldiği yerler siyah nokta ile Şekil 12 - Şekil 17 de gösterilmiştir. Yatay yerleşimli numunede esnemeye daha fazla izin verecek olan noktaların fazlalığı açıkça gözükmemektedir. Düz çizgili ve bal peteği örme yöntemlerinin aksine dönel çizgili örme yöntemli numunenin dikey numuneli kesitin daha sık ve tok olmasından dolayı (kuvvet gelen yerler siyah nokta ile gösterilmiştir) yatay numuneye kıyasla daha fazla defarmasyona izin verdiği gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcıda PLA malzemeden üretilen çekme test numuneleri, aynı doluluk oranlarında farklı örme yöntemi ve farklı basım yönlerinde üretilmiş ve çekme testlerine tabi tutularak örme yöntemi ve basım yönünün malzemenin mukavemet özellikleri etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Dikey yerleşimli test numunelerinin yatay yerleşimli test numunelerine oranla daha fazla maksimum yüke dayanabildiği gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin çalışmada doluluk oranı ne kadar aynı alınırsa alınır

duvar kalınlığı parametresi iki yerleşim içinde sabit tutulduğunda numune et kalınlığında bulunan iç hacmin doluluk oranının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yatay yerleşimli numuneler kendi içinde sıralandığında en yüksek akma dayanımına, uzama oranına ve deformasyon miktarına rectlinear numunenin olduğu, maksimum yüke en fazla çekme ve kopma dayanımına ise dönele çizgili numunesinin sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dikey yerleşimli olarak üretilen numunelerde ise en yüksek akma ve çekme dayanımına, en yüksek deformasyon, uzama miktarı ve maksimum yüke dönele çizgili örme yönteminin rectlinear ve bal peteği örme yöntemine göre daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yüzey incelemelerinde ise yatay numunelerinde örme şekillerinin esnemeye daha çok müsade edecek gözeneklere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dikey numunelerde ise gözenek yüzeylerinin sıklığından dolayı malzeme bu yüzeylerden kırılmış ve gevrek kırılmaya benzer bir davranış sergilemiştir.

Düz çizgili ve bal peteği örme yöntemli yatay numunelerin düz çizgili ve bal peteği örme yöntemli dikey numunelere kıyasla uzama oranlarının daha fazla olduğu ancak dönele çizgili örme yönteminde ise bunun tam tersi olduğu gözlemlenmiştir. Buradaki nedenin dönele çizgili örme yöntemli dikey numunenin yapısından geometrik olarak uzamaya daha fazla izin verdiği gözlemlenmiştir.

Kullanılan malzeme miktarının mukavemet dayanımlara etkisinin doğrudan olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. İç yapı incelendiğinde ise örme yapısının bağ noktalarına gelen kuvvetin deformasyona belirgin bir şekilde izin verdiği görülmüştür.

Bu çalışma çekme testleri ile sınırlandırılmış olup literatürde yapılan çalışmaları destekler nitelikte sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmanın PLA malzemenin üç boyutlu yazıcıda üretilen bir parça için statik test rigi kurularak örme yönteminin ve baskı yönünün bizzat üretilen parça üzerinden etkisinin araştırılması gibi çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasalözel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Bekir KARAKOÇ : Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

Gültekin UZUN : Makalede kullanılacak yöntemleri belirlemiş ve makalede kullanılan algoritmayı kurmuştur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] L. Novakova-Marcincinova and J. Novak-Marcincin, "Experimental testing of materials used in fused deposition modeling rapid prototyping technology," *Advanced Materials Research*, 740: 597-602, (2013).
- [2] D. T. Pham, and R. S. Gault, "A comparison of rapid prototyping technologies," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 38: 1257-1287, (1997).
- [3] B. N. Turner, R. Strong, and S. A. Gold, "A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. process design and modeling," *Rapid Prototyping Journal*, 20: 192-204, (2014).
- [4] S. H. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy and P.K. Wright, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS," *Rapid Prototyping Journal*, 8: 248-257, (2002).
- [5] Standard, A. S. T. M. F2792, standard terminology for additive manufacturing technologies. *ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, (2012).
- [6] Brenken, B., Barocio, E., Favaloro, A., Kunc, V., & Pipes, R. B. Fused filament fabrication of fiber-reinforced polymers: A review. *Additive Manufacturing*, 2021, 1-16.
- [7] Vaezi M. and Chua C.K., "Effects of layer thickness and binder saturation level parameters on 3D printing process", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53: 275-284, (2011).
- [8] Mohamed O.A., Masood S.H. and Bhowmik J.L., "Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects", *Advances in Manufacturing*, 3: 42-53, (2015).
- [9] Casavola C., Cazzato A., Moramarco V. and Pappalettere C., "Orthotropic mechanical properties of fused deposition modelling parts described by classical laminate theory", *Materials and Design*, 90: 453-458, (2016).
- [10] Rankouhi B., Javadpour S., Delfanian F. and Letcher T., "Failure analysis and mechanical characterization of 3D printed ABS respect to later thickness and orientation", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 16: 467481, (2016).

- [11] Tymrak B.M., Kreiger M. and Pearce J.M., “Mechanical properties of components fabricated with open-source 3D printers under realistic environmental conditions”, *Materials and Design*, 58: 242–246, (2014).
- [12] Domingo M., Puigriol J. M., Garcia A.A., Lluma J., Borros S. and Reyes G., “Mechanical property characterization and simulation of fused deposition modeling polycarbonate parts”, *Materials and Design*, 83: 670–677, (2015).
- [13] A. K. Sood, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, “Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed part,” *Materials & Design*, 31: 287-295, 2010.
- [14] W. Wang, T. Y. Wang, Z. Yang, L. Liu, X. Tong, W. Tong, J. Deng, F. Chen, X. And Liu “Cost-effective printing of 3D objects with skin-frame structures,” *ACM Trans. Graph*, 32: 5, 2013.
- [15] S. Wilson, “A new face of aerospace bal peteği”, *Materials & Design*, 11(6):323-326, 1990.
- [16] Bayraktar, Ö., Uzun, G., Çakiroğlu, R., & Guldaz, A. Experimental study on the 3D-printed plastic parts and predicting the mechanical properties using artificial neural,(2017).
- [17] Koç, Investigation Of Mechanical Properties Of Products Printed With Recycled Pla Filament For Use In 3d Printers, 49-58,(2022).
- [18] Öztürk, B. 3 boyutlu yazıcı ile üretilen sandviç yapıların statik ve dinamik yük altında davranışlarının incelenmesi (*Master's thesis*, Bursa Teknik Üniversitesi),(2020).
- [19] Efe, The Effect Of Infill Patterns' Parameters In Fdm Type 3D Printers On Product Resistance,(2020).
- [20] Özgül, H. G., & Tatlı, O. 3d Printer Design, Manufacturing And Effect Of Infill Patterns On Mechanical Propertles. *Icontech International Journal*, 4(1), 13-24,(2020).
- [21] Yanen, C., Çelik, E., & Solmaz, M. Y. Çekirdek Malzemesi Ergiyik Biriktirme Yöntemi İle Üretilen Bal Peteği Sandviç Kompozitlerin Eğilme Dayanımlarının İncelenmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 147-162.
- [22] İpekçi, Kam, Saruhan, Investigation of 3D Printing Occupancy Rates Effect on Mechanical Properties and Surface Roughness of PET-G Material Products. *Journal Of New Results In Science (JNRS)*, 7(2), 1-8,(2017).
- [23] Karaman, E., & Çolak, O. Eriyik biriktirme yönteminde farklı üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisi. *ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 90-99. E,(2019).
- [24] Elmas, B. S., Sarı, N. Y., & Yılmaz, T. Üç Boyutlu Yazıcılarda Polilaktik Asit (PLA) Filament Kullanılarak Farklı Yönlerde Üretilen Numunelerin Çekme Deneyleri. *5. Uluslararası Mühendislik Ve Teknoloji Yönetimi Kongresi Kongre Başkanı*, 86.
- [25] Efe, S., FDM Tipi 3 Boyutlu Yazıcılardaki Örgü Parametrelerinin Ürün Dayanımına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2020).
- [26] POLAT, N., Nergizhan, A. N. A. Ç., & Faruk, M. E. R. T. Eklemeli imalat ile üretilen PLA parçaların yapıştırılmasında yapıştırma parametrelerinin mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 1-1., (2021).
- [27] Günay, M., Gündüz, S., YILMAZ, H., Yaşar, N., & Kaçar, R. PLA esaslı numunelerde çekme dayanımı için 3D baskı işlem parametrelerinin optimizasyonu. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 73-79,(2020).
- [28] Evlen, H., Özdemir, M. A., & ÇALIŞKAN, A. Doluluk oranlarının PLA ve PET malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkileri. *Politeknik Dergisi*, 22(4), 1031-1037,(2019).
- [29] Ahrabi A.Z., Bilici İ., Bilgesu A.Y., “Pet Atıkları Kullanılarak Kompozit Malzeme Üretiminin Araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mimarlık Fak. Derg.*, 27:467-471, (2012).
- [30] Reddy M.M., Vivekanandhan S., Misraa M., Bhatia S.K. and Mohantya A.K., “Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities”, *Progress in Polym. Sci.*, 38:1653–1689, (2013).
- [31] Armentano I., Bitinis N., Fortunati E., Mattioli S., Rescignano N., Verdejo R., Manchado M.A.L. and Kenny J.M., “Multifunctional nanostructured PLA materials for packaging and tissue engineering”, *Progr. in Polymer Sci.*, 38:1720–1747, (2013).
- [32] Raquez J.M., Habibi Y., Murariu M. and Dubois P., “Polylactide (PLA)-based nanocomposites”, *Progr. In Polymer Sci.*, 38:1504–1542, (2013).
- [33] <https://www.raise3d.com/products/r3d-premium-abs-filament/> Erişim Tarihi : 12.01.23
- [34] <https://www.astm.org/d0638-14.html> Erişim Tarihi : 12.01.23
- [35] <https://www.raise3d.com/ideamaker/> Erişim Tarihi : 09.02.23