



ÜÇ BOYUTLU YAZICILARDA KULLANILAN DOLULUK ORANININ HASAR YÜKÜNE OLAN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Özkan ÖZ, Murat AYDIN, Ahmet Serkan KARA, Melis Sibel SANCAK

Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, yazdırma doluluk oranının, 3B yazıcıda yazdırılan parçaların çekme hasar yüküne olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışma, tarafımızca daha önce yapılan çalışmanın [1] devamı niteliğinde olup, yeni filament tipi eklenerek içeriği genişletilmiştir. Parçaların yazdırılmasında, poli (laktik asit) (PLA), akrilonitril bütadien stiren (ABS), Naylon ve destek malzemesi olarak kullanılan Polistiren filamentler tercih edilmiştir. Yazdırılan parçalar için doluluk oranları %15, %50 ve %100 olarak seçilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, doluluk oranlarındaki artışa bağlı olarak hasar yüklerinde belirgin şekilde artış meydana geldiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: 3B yazıcı, yazdırma doluluk oranı, hasar yükü.

DETERMINATION OF THE INFILL RATIO EFFECT ON THE FAILURE LOADS OF THE PRINTED PARTS

ABSTRACT

In this study, the effect of infill ratio on tensile failure loads of printed parts using 3D printer was investigated as experimentally. This study also is a follow-up study performed previous paper [1] by authors and the new filament type was added to extend. Through the printing process, Poly (lactic acid) (PLA), acrylonitrile butadiene styrene (ABS), Nylon and Polystyrene support filaments were chosen. The infill ratios of printed parts were selected as 15%, 50%, and 100% respectively. The experiment results showed that the failure loads were increased depended on the increasing of infill ratios.

KEYWORDS: 3D printer, the infill ratio, failure load.

1. GİRİŞ

Eklenebilir imalat, CAD ortamında tasarlanan modellerin, metal veya polimer malzemeler kullanılarak, fiziksel kütlenin katmanlar halinde oluşturulduğu üretim yöntemidir. 3B yazdırma teknolojileri eklenebilir imalat yönteminin en yaygın şekilde uygulandığı alanların başında gelmektedir. 3B yazıcılarda, genel olarak, eklenebilir imalat tanımına uyan Erimiş Birikimli Modelleme (EBM) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, ısıtılarak eriyik forma dönüştürülen termoplastik malzeme, tasarlanan modelin şekli elde edilecek şekilde katmanlar halinde yazdırılmaktadır. 3B yazıcı teknolojisi ile uyumlu olması sebebiyle ABS ve PLA termoplastik malzemeler filament formunda, bu imalat yöntemi içerisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 3B yazıcılarda kullanılan termoplastik malzeme ve seçilen yazdırma parametrelerine bağlı olarak yazdırılan parçaların dayanımları değişkenlik göstermektedir. Uygun yazdırma parametrelerinin, standart filamentlerin kullanıldığı durumlarda, yazdırılan ürün dayanım değerlerinde belirgin bir artışa neden olduğu literatürde belirtilmektedir [2-10].

Ang vd. [2], EBM işlem parametrelerinin parça kalitesine etkiyen değişkenlerinin belirlenmesinde deneysel tasarım metodunu kullanmışlardır. FYB (Filamentler Arası Yazdırma Boşluğu), FYG (Filament Yazdırma Genişliği) ve parça boşluğunun dayanımı etkileyen en önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir. Düşük boşluk oranındaki parçanın en iyi mekanik özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir.

Sood vd. [3], yazdırılan malzemenin katman sayısının, parça yönlenmesinin, FYA (Filament Yazdırma Açısı), FYG ve FYB'nin, çekme, eğme ve darbe direnci üzerine etkisini incelemişlerdir. Yazdırılan katman sayısının fazla olması durumunda, parçanın alt kısmına doğru yüksek sıcaklık değişimine sebep olacağını ve bu etkinin yazdırma yolları arasında difüzyonu artırarak dayanımı arttıracığını belirttiler. Isıtma ve soğutma döngü sayısındaki artışa bağlı gelişen artık gerilmelerin yazdırılan parçada ara yüzey çatlaklarına, çarpılmaya ve ayrılmalara neden olabileceğini açıkladılar. Yükleme yönünde düşük FYA'nın ve genişlik boyunca gerilme birikimine neden olan yüksek FYG'nin parça dayanımı arttırdığını, ayrıca gerilme yığılmalarının yapışma yüzeyleri kenarlarında difüzyonu artırarak yapışma kuvvetini arttırdığını belirttiler.

Bakar vd. [4], düşük FYG değerlerinin, yüksek sıcaklıktan etkilenerek alt katmanlarda tekrar ergimeye neden olabileceğini, genişliğin artması durumunda sıcaklık değişiminin sürdürülerek, daha düzgün parça geometrisinin elde edilebileceğini belirttiler. Ayrıca, filamentin uygulanması süresince, FYG'nin daha geniş temas alanına ulaşması ile katmanlar arası yapışma kalitesinin artacağını belirttiler.

Smith ve Dean [5], yazıcının baskı yönünün çekme dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Çekme test numunelerinin yazdırılmasında polikarbonat filament kullandılar. Çekme test numunelerinin hazırlanmasında sırasıyla, yük uygulanan kısa kenarlardan başlanarak numune uzunluğu boyunca, yük doğrultusuna dik genişlik boyunca ve numune yüzey formu oluşturularak kalınlık boyunca yazdırma yönlerini kullandılar. En yüksek çekme dayanımının, yüzey formu oluşturularak kalınlık boyunca yazdırılan numunelerden elde edildiğini belirttiler. Bulk numune değerleri ile yaptıkları karşılaştırmada, elastisite modülünün bulk numuneye göre yaklaşık olarak %45, çekme dayanımının da %30-60 arasında azaldığını belirlediler.

Durgun ve Ertan [6], EBM yönteminde, parça yönlenmesi, FYA, dayanım ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemişlerdir. FYA ve parça yönlenmesinin, mekanik özellikler ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreler olduğunu açıkladılar. Parça yüzeyinden ölçülen pürüzlülük değerlerinin, çekme ve eğme test sonuçlarına paralel davranış gösterdiğini belirlediler. Ayrıca, düşük FYA değerlerinde, parça dayanımının arttığını belirttiler.

Onwubolu ve Rayegani [7], en uygun parça yazdırma parametrelerinin belirlenmesinde, diferansiyel değişim yaklaşımını kullandılar. Negatif FYB değerinin çekme dayanımını belirgin şekilde arttırdığını gösterdiler. Ayrıca, düşük FYG değeri, çekme yönünde parça yönlenmesi ve minimum katman kalınlığının çekme dayanımını olumlu yönde etkileyen diğer parametreler olduğunu belirlediler. Maksimum çekme dayanımının, çekme yönünde parça yönlenmesinde elde edildiğini açıkladılar. Ayrıca, FYA değerinin, parça dayanımına, diğer parametrelerle karşılaştırıldığında etkisinin daha az olduğunu belirttiler.

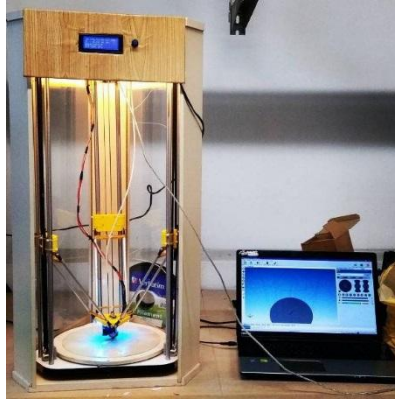
Gajdoš vd. [8], parçaya etkiyen yükün yönünün bilinmesi durumunda, uygun parça yönlenmesinin seçilebileceğini ve kontur sayısının arttırılabileceğini belirttiler. Ayrıca, imalat süresinin düşürülerek, parça maliyetinin azaltılabileceğini açıkladılar. Torres vd. [9] yazdırma parametrelerinin parça mekanik özelliklerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yük ve yazdırma yönünün çekme ve kırılma tipi yüklemelerde önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Spoerk vd. [10] çalışmalarında optimum katman tasarımının dayanımı etkileyen temel parametrelerden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca kohezyonun artışı ile beraber, yazdırılan parça mekanik özelliklerinin önemli oranlarda arttığını belirtmişlerdir.

Bu çalışma tarafımızca daha önce yapılan çalışmanın [1] devamı niteliğinde olup, yeni filament tipi eklenerek içeriği genişletilmiştir. Bu çalışmada, yazdırma parametresi olan doluluk oranının, ABS, PLA, Naylon ve önceki çalışmaya ek olarak Polistiren filamentler kullanılarak yazdırılan parçaların hasar yüklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Üç farklı filament ile hazırlanan %15, %50 ve %100 doluluk oranlarına sahip numunelere aksel çekme yükü uygulanmıştır. Doluluk oranlarının hasar yüklerine olan etkisi grafiksel olarak sunulmuştur.

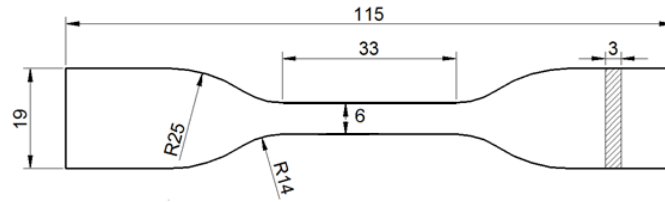
2. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR

Çalışmada, 1.75 mm çapında hazır filamentler kullanılmıştır. Numunelerin yazdırılmasında açık kaynak kod yazılımı ile çalışabilen, delta tipi Rostock yazıcı kullanılmıştır (Şekil 1). 25x35 mm yazdırma alanına sahip delta tipi Rostock yazıcı, 0.4 mm yazdırma ucu ile hassas ölçü toleranslarında numunelerin yazdırılması için uygundur. Yazıcının maksimum yazdırma hızı ve sıcaklığı sırasıyla, 250 mm/sa ve 250 °C'dir.



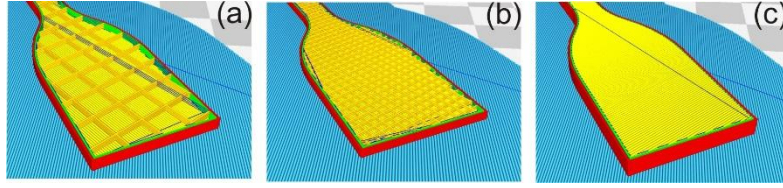
Şekil 1: Delta tipi Rostock yazıcı [1]

Farklı doluluk oranlarda yazdırılan numunelerin hasar yüklerinin belirlenmesi amacıyla, ASTM D638-10 standardına göre, Şekil 2'de gösterilen numune ölçüleri kullanılmıştır.



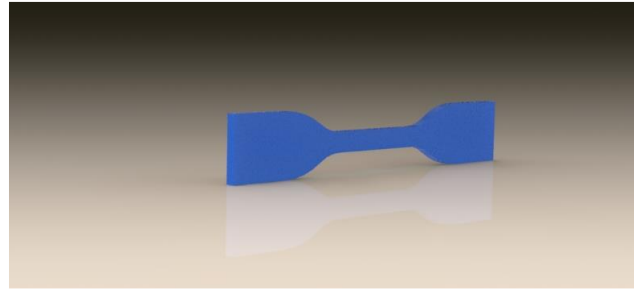
Şekil 2: Numune ölçüleri [1]

Numunelerin yazdırılmasında kalınlık boyunca toplam on bir katman kullanılmıştır. Program parçaya uygun ilk katman ve son katman değerlerini kendisi önermiştir ve önerilen değerlerde dört alttan ve dört yukardan sekiz katman %100 doluluk oranıyla yazdırılmıştır. Numunelerin tamamında orta kalınlıkta mevcut üç katman üzerinde doluluk oranları değiştirilmiştir. Üretilen numunelerin yazdırma hızı 100 mm/sa olarak seçilmiştir. ABS, PLA, Naylon ve Polistiren yazdırma sıcaklıkları sırasıyla, 230°C, 200°C, 245°C ve 215°C olarak belirlenmiştir. Şekil 3'de farklı doluluk oranlarına sahip numuneler gösterilmektedir.



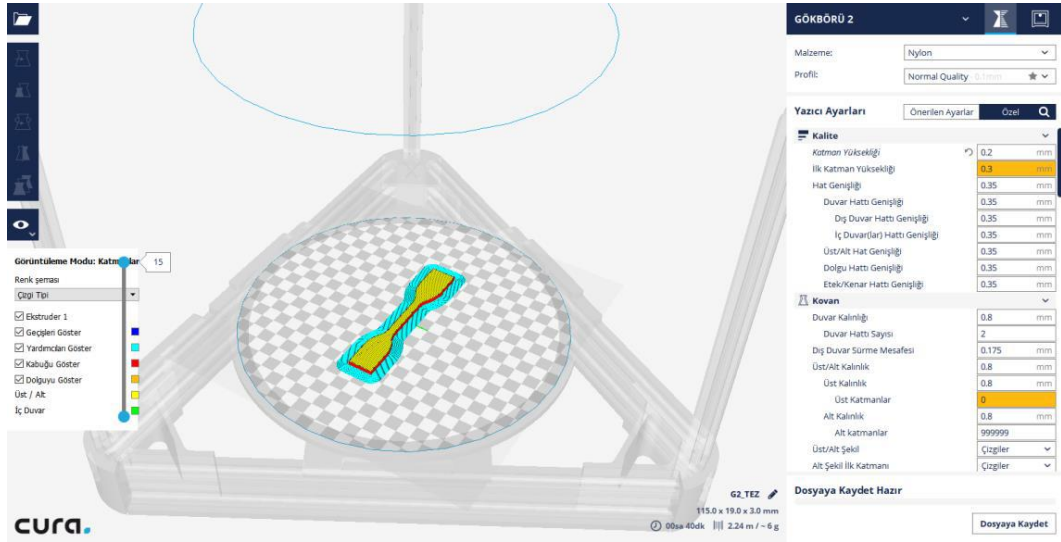
Şekil 3: Doluluk oranları; a)%15, b)%50, c) %100 [1]

Numunelerin belirlenen ölçülerde modellenmesi amacıyla SolidWorks programı kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: SolidWorks programı numune modeli

Modellemesi yapılan numuneler için Cura yazılımı kullanılarak, 3 Boyutlu yazıcıda yazdırma işleminin başlatılması için gerekli parametreler oluşturulmuştur. Şekil 5'de Cura programı ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 5: Cura programı ara yüzü

Şekil 6, modellenmesi yapılan ve yazdırma parametreleri belirlenen numunelerin yazdırılması gösterilmektedir.



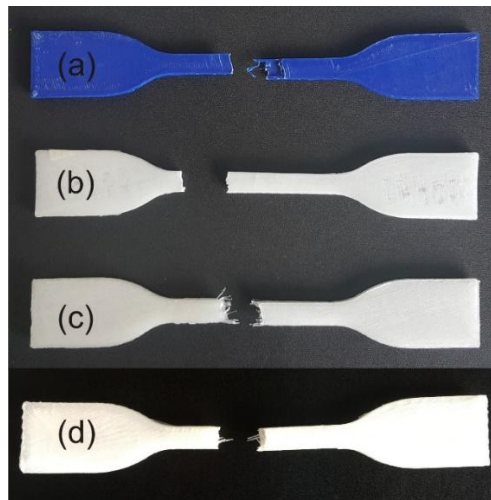
Şekil 6: Numunelerin yazdırılması [1]

Farklı oranlarda yazdırılan numunelere Zwick test cihazında 1mm/dak hızda aksenal çekme yükü uygulanmıştır (Şekil 7). Elde edilen kuvvet-yüzde uzama eğrileri kullanılarak hasar yükleri tespit edilmiştir.



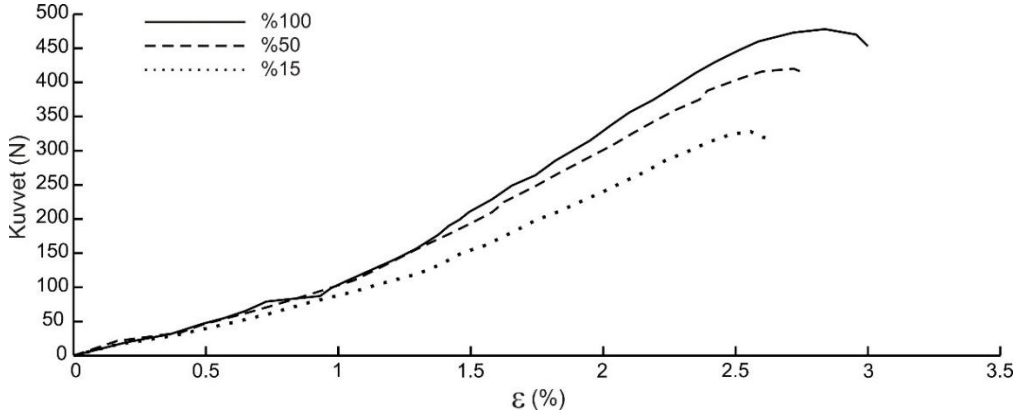
Şekil 7: Çekme testi [1]

Kuvvet-yüzde uzama eğrilerinde, ani hasar oluşumunun meydana geldiği noktadaki kuvvet değeri, yazdırılan numunelerin hasar yükünü vermektedir. Şekil 8'de hasara uğrayan numuneler gösterilmektedir. Hasara uğrayan numunelerde oluşan kırılma yüzeylerinin tamamı ölçüm uzunluğu içerisinde meydana gelmiştir.

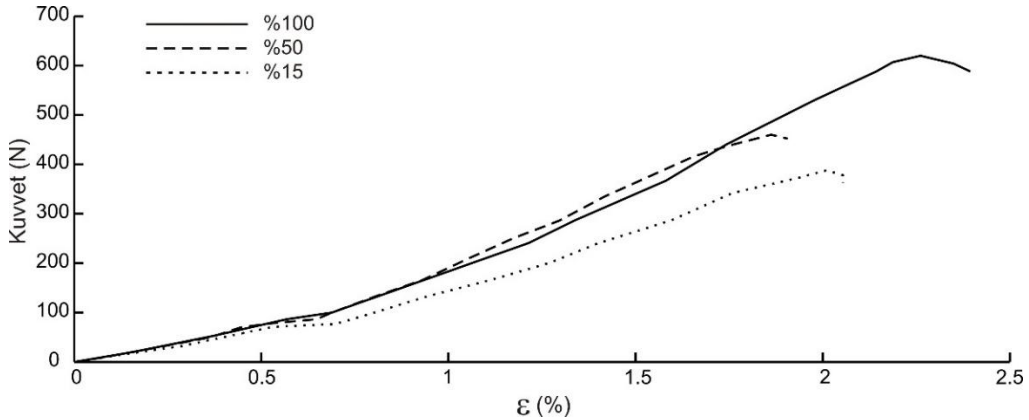


Şekil 8: Hasara uğrayan numuneler; a)ABS, b)PLA, c)Naylon, d) Polistiren

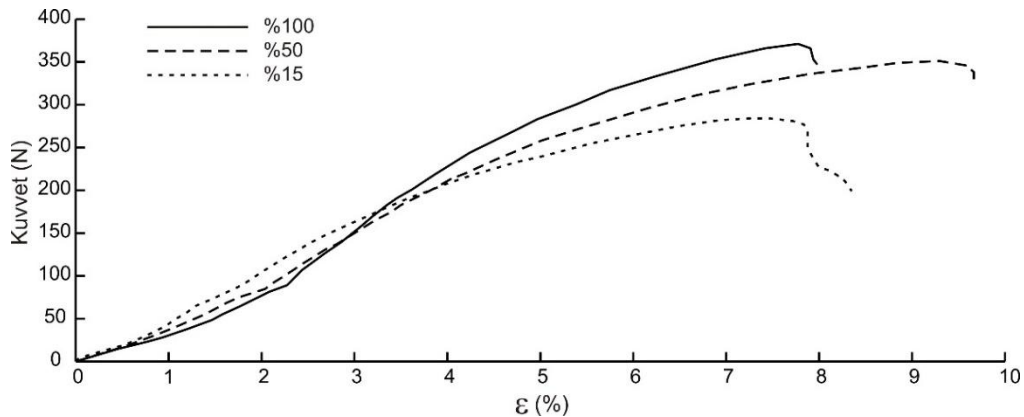
Şekil 9-12, farklı doluluk oranlarında ABS, PLA, Naylon ve Polistiren filamentler ile yazdırılan numunelerin hasar yüklerini ve yüzde uzama değerlerini göstermektedir. Numunelerin tamamında doluluk oranlarındaki artış ile beraber, hasar yükleri artmaktadır. Numuneler, %100 doluluk oranında en yüksek hasar yüküne ulaşmaktadır. %100 doluluk oranları için hasar yükleri karşılaştırıldığında, en yüksek hasar yükü PLA filament kullanılarak yazdırılan numunede elde edilmiştir. Bununla birlikte, doluluk oranlarındaki düşüş ile beraber hasar yükleri düşmektedir. Ayrıca, doluluk oranlarının tamamında, dört farklı filament ile hazırlanan numune yüzde uzama değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında, naylon filament ile yazdırılan numunelerin en yüksek yüzde uzama değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



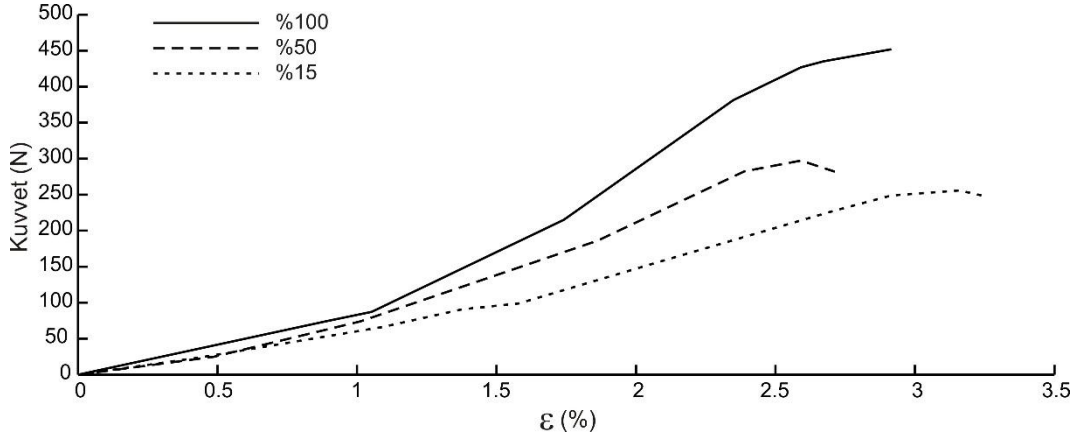
Şekil 9: Üç farklı doluluk oranında ABS filament ile yazdırılan numunelerin hasar yükleri [1]



Şekil 10: Üç farklı doluluk oranında PLA filament ile yazdırılan numunelerin hasar yükleri [1]



Şekil 11: Üç farklı doluluk oranında Naylon filament ile yazdırılan numunelerin hasar yükleri [1]



Şekil 12: Üç farklı doluluk oranında Polistiren filament ile yazdırılan numunelerin hasar yükleri

Doluluk oranlarına göre hasar yüklerinde meydana gelen değişim Tablo 1’ de detaylı olarak karşılaştırılmaktadır. En düşük hasar yükleri %15 doluluk oranlarında elde edilmiştir. Tablo 1’de verilen yüzde artış değerleri, %15 doluluk oranı hasar yüküne göre, %50 ve 100 doluluk oranlarına sahip numuneler için hasar yüklerindeki artışı göstermektedir.

Tablo 1: Hasar yüklerinin karşılaştırılması

Doluluk oranı (%)	Filament çeşidi							
	ABS		PLA		Naylon		Polistiren	
	Hasar yükü (N)		Hasar yükü (N)		Hasar yükü (N)		Hasar yükü (N)	
15	328	Yüzde artış	388	Yüzde artış	284	Yüzde artış	256	Yüzde artış
50	420	28.05	460	18.56	351	23.60	297	16
100	478	45.73	620	59.80	371	30.63	452	76.56

Numunelerin %50 doluluk oranı ile yazdırıldığı durum için, %15 doluluk oranına göre, hasar yükündeki en yüksek yüzde artış miktarı %28.05 ile ABS filament ile yazdırılan numunelerden elde edilmiştir. Belirtilen bu durum için yüzde artış miktarı Polistiren filament ile yazdırılan numunelerde en düşük değeri almıştır. Bununla birlikte, %100 doluluk oranlarına göre yüzde artış miktarları karşılaştırıldığında, Polistiren filament ile yazdırılan numuneler, % 76.56 ile en yüksek artış oranına ulaşmıştır. Naylon filament ile yazdırılan numuneler için doluluk oranlarındaki artışın hasar yüküne etkisi, özellikle %100 doluluk oranı için, diğer filamentler ile hazırlanan numune hasar yüklerinde meydana gelen değişim ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür.

3. TARTIŞMA

Bu çalışmada, yazdırma doluluk oranının ABS, PLA, Naylon ve Polistiren filamentler kullanılarak yazdırılan numunelerin hasar yüklerine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yazdırma doluluk oranları %15, %50 ve %100 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kullanılan filament çeşitlerinin tamamında doluluk oranlarındaki artışın hasar yükünü arttırdığını göstermiştir. Doluluk oranına bağlı olarak en belirgin artış Polistiren filament ile yazdırılan numunelerde meydana gelmiştir. Naylon filament için doluluk oranının hasar yüküne etkisinin, diğer filament çeşitleri ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür.

4. KAYNAKLAR

- [1] Öz Ö, Aydın M, Kara AS, Sancak MS. 2nd International Symposium on Industrial Design & Engineering. 2017:8-13.
- [2] Ang KC, Leong KF, Chua CK. Investigation of the mechanical properties and porosity relationships in fused deposition modelling fabricated porous structures. *Rapid Prototyping Journal*. 2006;12(2):100-105.
- [3] Sood AK, Ohdar RK, Mahapatra SS. Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed. *Materials and Design*. 2010;31(1):287-295.
- [4] Bakar NSA, Alkahari MR, Boejang H. Analysis on fused deposition modelling performance. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering)*. 2010;11(12):972-977.
- [5] Smith WM, Dean RW. Structural characteristics of fused deposition modeling polycarbonate material. *Polymer Testing*. 2013;32(8):1306-1312.
- [6] Durgun I, Ertan R. Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost. *Rapid Prototyping Journal*. 2014;20(3):228-235.
- [7] Onwubolu GC, Rayegani F. Characterization and Optimization of Mechanical Properties of ABS Parts Manufactured by the Fused Deposition Modelling Process. *International Journal of Manufacturing Engineering*. 2014; Article ID 598531;1-13.
- [8] Gajdoš I, Spišák E, Slota J, Kaščák L. Influence of Path Generation Strategy on Tensile Properties of FDM Prototypes. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Mechanika*, z. 2013;85(2):139-148.
- [9] Torres J, Cole M, Owji A, DeMastry Z, Gordon AP. An approach for mechanical property optimization of fused deposition modeling with polylactic acid via design of experiments. *Rapid Prototyping Journal*. 2016;22(2):387-404.
- [10] Spoerk M, Arbeiter F, Cajner H, Sapkota J, Holzer C. Parametric optimization of intra- and inter-layer strengths in parts produced by extrusion-based additive manufacturing of poly(lactic acid) *Journal of Applied Polymer Science*. 2017;134(41):1-15.