

# FDM Yöntemi ile Üretilen Kovan Yatakların Titreşimi Sönümlenme Kabiliyetlerinin Deneysel Analizi

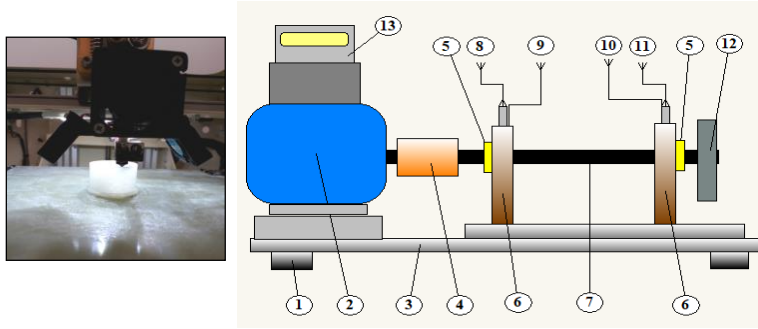
## Experimental Analysis of Vibration Damping Capabilities of Sleeve Bearings Printed Using FDM Method

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ FDM yöntemi ile kovan yatakların üretimi (Printing of sleeve bearings using FDM method)
- ❖ Kovan yatakların titreşimi sönümlenme kabiliyetleri (Vibration damping capabilities of sleeve bearings)
- ❖ 3D Üretilen kovan yatakların deneysel titreşim analizi (Experimental vibration analysis of 3D printed sleeve bearings)

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, Ergiyik Depolayarak Modelleme (Fused Deposition Modelling - FDM) yöntemi ile üretilen kovan yatakların desteklediği milin titreşimlere karşı sönümlenme kabiliyetleri deneysel olarak analiz edilmiştir. (In this study, vibration damping capabilities of sleeve bearing printed from PA12 filament material using Fused Deposition Modeling - FDM method was experimentally analyzed)



Şekil. Üretilen yatakların deneysel titreşim analizi / Figure. Experimental vibration analysis of printed bearings

### Amaç (Aim)

FDM yöntemi ile üretilen kovan yatakların desteklediği milin titreşimlere karşı sönümlenme kabiliyetlerini deneysel olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. (The aim of the study is to analyse the vibration damping capabilities of sleeve bearing printed using FDM method)

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

FDM yöntemi ve Deneysel titreşim analizi (FDM method and experimental vibration analysis)

### Özgünlük (Originality)

FDM yöntemi kullanarak PA12 filament malzemeden üretilen kovan yatakların titreşimi sönümlenme kabiliyetleri incelenmiştir. (It was investigated the vibration damping capabilities of sleeve bearing printed from PA12 filament material using FDM method)

### Bulgular (Findings)

Kovan yatakların desteklerine bağlanan ivmeölçerler ile titreşim verileri toplanmıştır. (Vibration amplitude values were collected with accelerometers mounted on the sleeve bearing supports)

### Sonuç (Conclusion)

Kovan yatakların titreşimi sönümlenme kabiliyetlerinde önemli farklılıklar olduğu ve genel olarak doluluk oranları arttıkça titreşim genlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. (The results showed that filling structures and occupancy rates had very important role in damping capabilities of sleeve bearings)

### 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.

# FDM Yöntemi ile Üretilen Kovan Yatakların Titreşimi Sönümlenme Kapiliyetlerinin Deneysel Analizi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Menderes KAM<sup>1\*</sup>, Hamit SARUHAN<sup>2</sup>, Ahmet İPEKÇİ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Tek. Böl., Düzce Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye.

(Geliş/Received : 06.11.2019 ; Kabul/Accepted : 06.10.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 25.11.2020)

## ÖZ

Bu çalışmada, Ergiyik Depolayarak Modelleme (Fused Deposition Modelling - FDM) yöntemi ile üretilen kovan yatakların desteklediği milin titreşimlere karşı sönümlenme kabiliyetleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, PA12 (Nylon) filament malzeme kullanılarak farklı doldurma şekillerinde (Honeycomb, 3D Honeycomb, Gyroid, Hilbert curve, Archimed cords) ve doluluk oranlarında (% 10, 30 ve 50) toplam 30 adet kovan yatak üretilmiştir. Kovan yatakları analiz etmek için mil-yatak sisteminde aynı çalışma şartlarında 900 dev/dak mil dönme hızında deneysel çalışma gerçekleştirilmiş, kovan yatakların desteklerine bağlanan ivmeölçerler ile titreşim verileri toplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, kovan yatakların titreşimi sönümlenme kabiliyetlerinde önemli farklılıklar olduğu ve genel olarak doluluk oranları arttıkça titreşim genlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kovan yatak, PA12, FDM, titreşim, sönümlenme, doldurma şekli, doluluk oranı.

## Experimental Analysis of Vibration Damping Capabilities of Sleeve Bearings Printed Using FDM Method

### ABSTRACT

In this study, vibration damping capabilities of sleeve bearing printed from PA12 (Nylon) filament material using Fused Deposition Modeling (FDM) method was experimentally analyzed. A total of a pair of 15 sleeve bearings samples for supporting rotating shaft were printed in different filling structures (Honeycomb, 3D Honeycomb, Gyroid, Hilbert curve, Archimed cords) with different occupancy rates (10, 30 and 50 %). The experiments were performed for rotating shaft running speed of 900 rpm. Vibration amplitude values were collected with accelerometers mounted on the sleeve bearing supports. The results showed that filling structures and occupancy rates had very important role in damping capabilities of sleeve bearings.

**Keywords:** Sleeve bearing, FDM, PA12, vibration, damping, filling structures, occupancy rate.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Katmanlı imalat teknolojisi, Üç Boyutlu (3B) parçaların üretimi veya istenen geometride ürünlerin basımı için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemde kesici takımın olmamasından dolayı düşük maliyetli ve talaş kaldırma işlemi yapmadan parça üretilebilmektedir. Bu yöntem yaygın olarak prototipler, ev aletleri ve fonksiyonel parçalar elde etmek için kullanılmaktadır [1]. Bu kapsamda kullanılan 3B yazıcılar, karmaşık geometriye sahip parçaları tek seferde artık malzeme oluşturmadan üretebilen cihazlardır. Sadece önceden, tanımlanmış bir dizi parametre ve daha sonra işleme koordinatlarına çevrilebilen bir 3B modelinin oluşturulması gerekir. İşleme koordinatları için oluşturulan veriler, motorları kontrol etmek ve malzemeyi nozul içerisinden katmanlar halinde yazdırmak için kullanılır. Üretime yönelik bu yaklaşım, artık malzemenin oluşmaması

sayesinde bir parçanın üretildiği geleneksel üretim yönteminin tersi bir yöntem teşkil eder. Günümüzde, kaliteyi arttırırken en kısa zamanda ve düşük maliyetli parça üretmek, üreticilerin en büyük kaygılarından biri olarak görülmektedir [2]. Bu bağlamda, katmanlı imalat yöntemlerinin hızlı gelişimi, geleneksel tekniklere nazaran oldukça uygulanabilir bir alternatif haline geldiğini göstermektedir. Diğer yandan, araştırmacıların katmanlı imalat tekniklerini kullanma konusunda karşılaştıkları dezavantajlarından biri, parçaların geleneksel olarak oluşturulmuş olanlara kıyasla mekanik özelliklerinin düşük olmasıdır [3].

3B yazıcılarda kullanılan Ergiyik Depolayarak Modelleme (Fused Deposition Modelling - FDM) yöntemi, çok sayıda işlem parametresi gerektiren bir katmanlı imalat işlemidir. Bu yöntem sıcak bir nozul içerisinden erimiş plastiği kesit alanı boyunca katmanlar halinde dökme işlemi olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajları ise ön hazırlık gerektirmeden, artık malzeme oluşturmadan üretim

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mendereskam@duzce.edu.tr

yapılabilmesi ve bunların yanında geleneksel üretim yöntemlerine göre geometrik sınırlamalarda sorun olmamasıdır. Bu avantajlı özelliklerine rağmen ürün kalitesini arttırmak üretim zamanını da ciddi oranda arttırmaktadır. 3B yazıcıların tercihinde en önemli etkenlerin başında üründen beklenen mukavemet, kalite, uygun malzeme ve maliyet gelmektedir. Bu bağlamda, 3B yazıcılarda ürün kalitesini etkileyen özellikler; yazdırma hızı, tabla sıcaklığı, nozul sıcaklığı, katman kalınlığı, nozul genişliği ve soğutma hızı olarak sıralanabilir. Tasarımı yapılan ürünün gerçek malzemeden ve geleneksel üretim metotları ile üretilmesi genellikle pahalı ve zaman alıcı olmaktadır. Ürünlerin 3B olarak prototiplerinin yapılması ile tasarım hatalarının tespit edilerek üretilmeden önce iyileştirilmelerinin yapılmasına olanak sağlamaktadır. FDM yöntemiyle 3B parçaların üretim maliyeti ve işlem süresinin düşük olması nedeniyle birçok endüstri tarafından özellikle otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde tercih edilmektedir. Araştırmacılar, yeni yazılım ve donanımın yanı sıra optimizasyon işlemlerinin geliştirilmesi yoluyla FDM metodu ile basılan parçaların özelliklerini iyileştirmeyi hedeflemiştir [4-9].

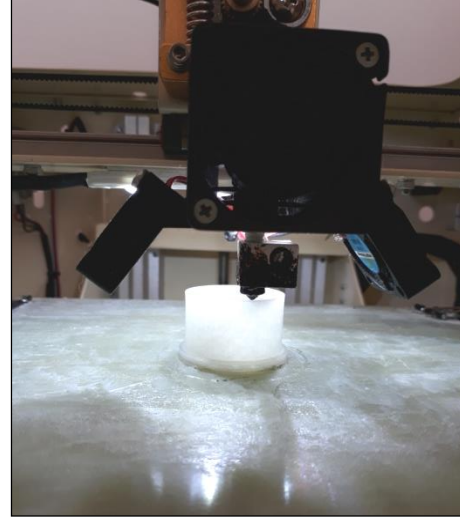
FDM yönteminde üretim parametrelerinin doğru ayarlanması, ürünün performansını ve özelliklerini iyileştirecektir. Bu nedenle çeşitli süreç parametrelerinin mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek ve en iyi ayarı seçmek önemlidir. Bu kapsamda, FDM işleminin optimum parametrelerini belirlemek için literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Literatürde, 3B yazıcıda doluluk oranının mekanik özellikler üzerine etkileri incelenmiş % 10, 20, 30, 40 ve 50 doluluk oranlarında numune hazırlayarak tek eksenli çekme testleri gerçekleştirilmiş, sertlik ve pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Sertlik değerlerinin malzemenin doluluk oranı ile doğru orantılı olduğunu, doluluk oranı arttıkça malzemelerin sertliklerinin de arttığı tespit edilmiştir [11].

FDM yönteminin işlevsel bir üretim tekniği olarak kullanılması için üretilen parçaların özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, FDM yöntemi ile elde edilen parçaların nihai kalitesini kontrol etmek için birçok parametre vardır. Ayrıca, FDM süreci ile ilgili literatürde en etkili parametrelerin seçilmesine ilişkin bilgiler bulunmaktadır [12-26]. Üretilmiş parçaların değerlendirilmesi, işlem süresi, mukavemet ve parçanın mekanik performansı ve üretim doğruluğu gibi çeşitli parametreler kullanılarak yapılabilmektedir. Genel olarak, her işlem parametresi ürün kalitesini farklı şekilde etkileyebilir. Örneğin, bir işlem parametresinin değerini arttırmak, diğerlerini olumsuz etkilerken bir diğerini iyileştirebilir. Bu nedenle, katmanlı imalat alanında yapılan çalışmaların çoğu, işleme süresi, boyutsal doğruluk, mukavemet, 3B basılan parçaların dinamik ve mekanik özellikleri gibi belirli özelliklere odaklanmıştır. Yapılan çalışmalarda, FDM işleminin, imalat koşullarına bağlı olarak mekanik özelliklerde bariz bir fark gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte, işleme parametrelerinin PA12 filament malzemeden üretilen

parçaların titreşimi sönümleme kabiliyetleri üzerindeki etkisini araştırmak için çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, FDM yöntemi kullanılarak PA12 filament malzemeden üretilen kovan yatakların mil-yatak sisteminde titreşimi sönümleme kabiliyetleri deneysel olarak analiz edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

3B yazıcıda kovan yatakların üretilmesi için öncelikle numuneler bilgisayar ortamında SolidWorks programı kullanılarak 3B olarak tasarlanmış ve dilimleme ara yüz programı olan Slic3r programına aktarılmıştır. Programda işleme koordinatları oluşturulduktan sonra yazıcıya bir USB bağlantısı yardımıyla gönderilmiş ve 3B model platform üzerine yazdırılmıştır. Şekil 1'de 3B yazıcıda FDM yöntemi ile bir kovan yatağın üretimi gerçekleştirilirken gösterilmiştir.



Şekil 1. FDM yöntemi ile bir kovan yatağın üretimi (Printing of a sleeve bearing by FDM Method)

Deneysel çalışmada her deney için 2 adet olmak üzere toplam 30 adet kovan yatak üretilmiştir. Kovan yataklar Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. FDM metodu ile üretilen kovan yataklar (Sleeve bearings printed by FDM Method)

3B yazdırma parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir. Deneyler için hazırlanan kovan yataklara ait doldurma şekilleri ve doluluk oranları Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Yazdırma parametreleri (Printing process parameters)

Filament Çapı (mm)	1,75
Nozul Çapı (mm)	0,40
Ekstruder sıcaklığı (K)	533,15
Tabla sıcaklığı (K)	373,15
Doluluk oranı (%)	10, 30, 50
Ekstrüzyon genişliği (mm)	0,35
Katman kalınlığı (µm)	200
Yazdırma Hızı (mm/s)	70
Boşta çalışma hızı (mm/s)	80
Doldurma şekli	Honeycomb
	3D Honeycomb
	Gyroid
	Hilbert curve
	Archimed cords

Deney numunesi olarak hazırlanan yataklar için kullanılan PA12 filament malzemenin özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** PA12 filament malzemenin özellikleri (Properties of PA12 filament material) [27].

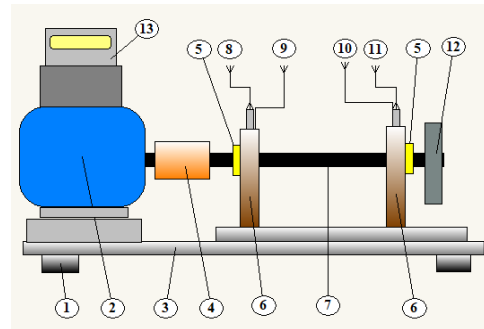
Malzeme	PA12 (Naylon)
Filament rengi	Beyaz
Filament çapı (mm)	1,75
Yoğunluk (g / cm <sup>3</sup> )	1,01
Akma dayanımı (MPa)	48
Elastiklik modülü (MPa)	1650
Yüzde uzama (%)	118
Erime noktası (K)	460,15
Isıyla eğilme sıcaklığı (K)	368,15

Şekil 3’de şematik olarak verilen deney düzeneğinde kovan yataklar kullanılarak 15 adet deney serisi oluşturulmuştur (Çizelge 3). Deneysel çalışma aynı yükleme ve çalışma şartlarında PA12 malzemeden üretilen kovan yataklarla desteklenmiş milin titreşim genliğini artırmak için uç kısmına 65 mm çapında 345 gr ağırlığında bir disk takılmıştır. Sistemde oluşan titreşim verileri VibraQuest™ yazılım ve donanım sistemi ile toplanmıştır.

**Çizelge 3.** Kovan yatakların doldurma şekilleri ve doluluk oranları (Filling structures of sleeve bearings and occupancy rates)

Set kodu	Doldurma Şekli	Doluluk Oranı (%)		
		10	30	50
1	Honey comb			
2	3D Honeycomb			
3	Gyroid			
4	Hilbert Curve			
5	Archimed Chords			

Kovan yatakların titreşimi sönmleme kabiliyetlerinin belirlenebilmesi için elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.



**Şekil 3.** Deney düzeneği şematik olarak gösterimi (The schematic view of experimental set-up)

1	Plastik takoz	8	İvmeölçer – Ch1
2	Motor	9	İvmeölçer – Ch2
3	Gövde	10	İvmeölçer – Ch3
4	Esnek kaplin	11	İvmeölçer – Ch4
5	Kovan yatak	12	Disk (345 gr)
6	Destek	13	Hız kontrol ünitesi
7	Mil		

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada, oluşturulan mil-yatak sisteminde yatakların bulunduğu desteklerde ivmeölçerler ile her bir destekten iki adet olmak üzere toplam dört kanaldan (Ch1, Ch2, Ch3 ve Ch4) elde edilen veriler grafikler halinde sunulmuştur. Motora yakın destekten düşey doğrultuda (Ch1), yatay doğrultuda (Ch2) ayrıca motordan uzak destekten düşey doğrultuda (Ch 3) ve yatay doğrultuda (Ch4) ivmeölçerler kullanılmıştır. İvmeölçerler aracılığıyla mil çalışma hızı 900 dev / dakika için veriler elde edilmiştir. Deneysel verilerden en yüksek titreşim genlik tepe değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu değerlere göre; Ch1 için en yüksek tepe değeri % 10 doluluk oranı ile Archimed cords doldurma şekline sahip kovan yatakta görülmüştür. En düşük tepe değeri ise % 50 doluluk oranı ile 3D Honeycomb doldurma şekline sahip kovan yatakta görülmüştür. Ch2 için; en yüksek tepe değeri % 10 doluluk oranı ile Gyroid doldurma şekline sahip kovan yatakta en düşük tepe değeri ise % 50 doluluk oranı ile 3D Honeycomb doldurma şekline sahip kovan yatakta görülmüştür. Ch3 için; en yüksek tepe değeri % 10'luk oranı ile Gyroid doldurma şekline sahip kovan yatakta, en düşük tepe değeri ise % 50 doluluk oranı ile Archimed cords doldurma şekline sahip kovan yatakta görülmüştür. Ch4 için; en yüksek tepe değeri % 10'luk oran ile Archimed cords şekline sahip kovan yatakta, en düşük tepe değeri ise % 30 doluluk oranı ile Gyroid doldurma şekline sahip kovan yatakta görülmüştür.

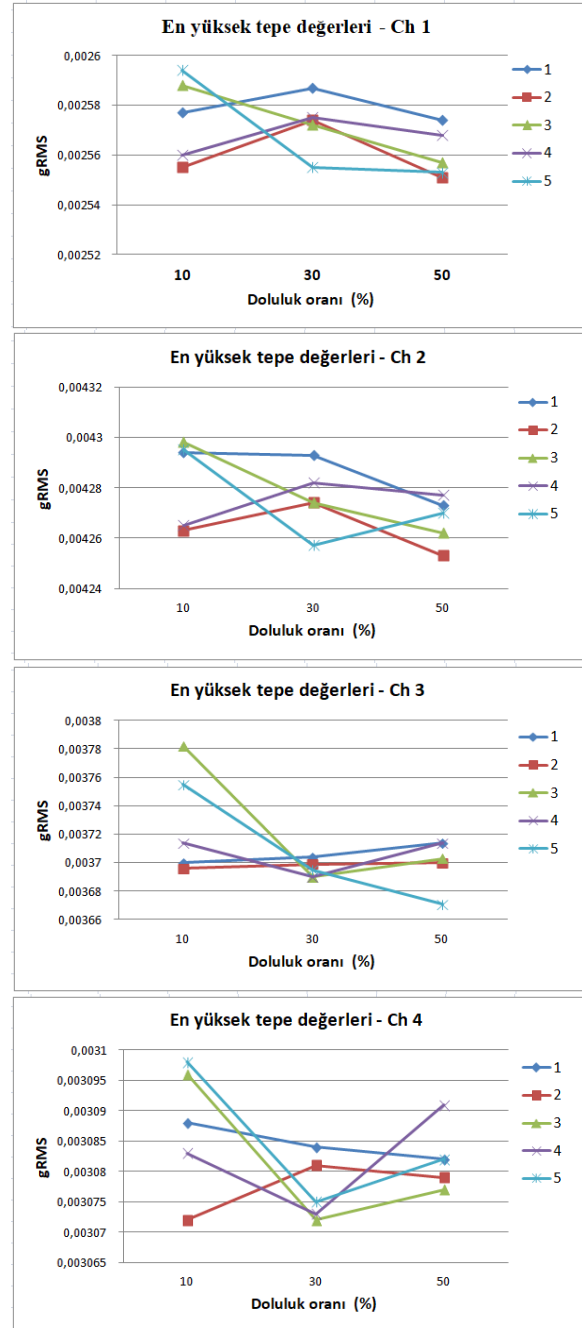
En yüksek tepe değeri Ch 2 kanalında 0,0043 gRMS olarak % 10 doluluk oranı ve Gyroid yazdırma şekli olan kovan yatakta ve ikinci en yüksek tepe değeri ise yine Ch 2 kanalında 0,0031 gRMS olarak % 50 doluluk oranı ve Hilbert curve yazdırma şekli olan kovan yatakta olduğu görülmüştür.

Genel olarak % 10 doluluk oranlarında genlik değerleri daha yüksek, doluluk oranları arttıkça daha düşük genlik değerlerinin olduğu gözlenmiştir. Doldurma şekillerinde ise Gyroid, 3D Honeycomb ve Archimed cords daha düşük tepe değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

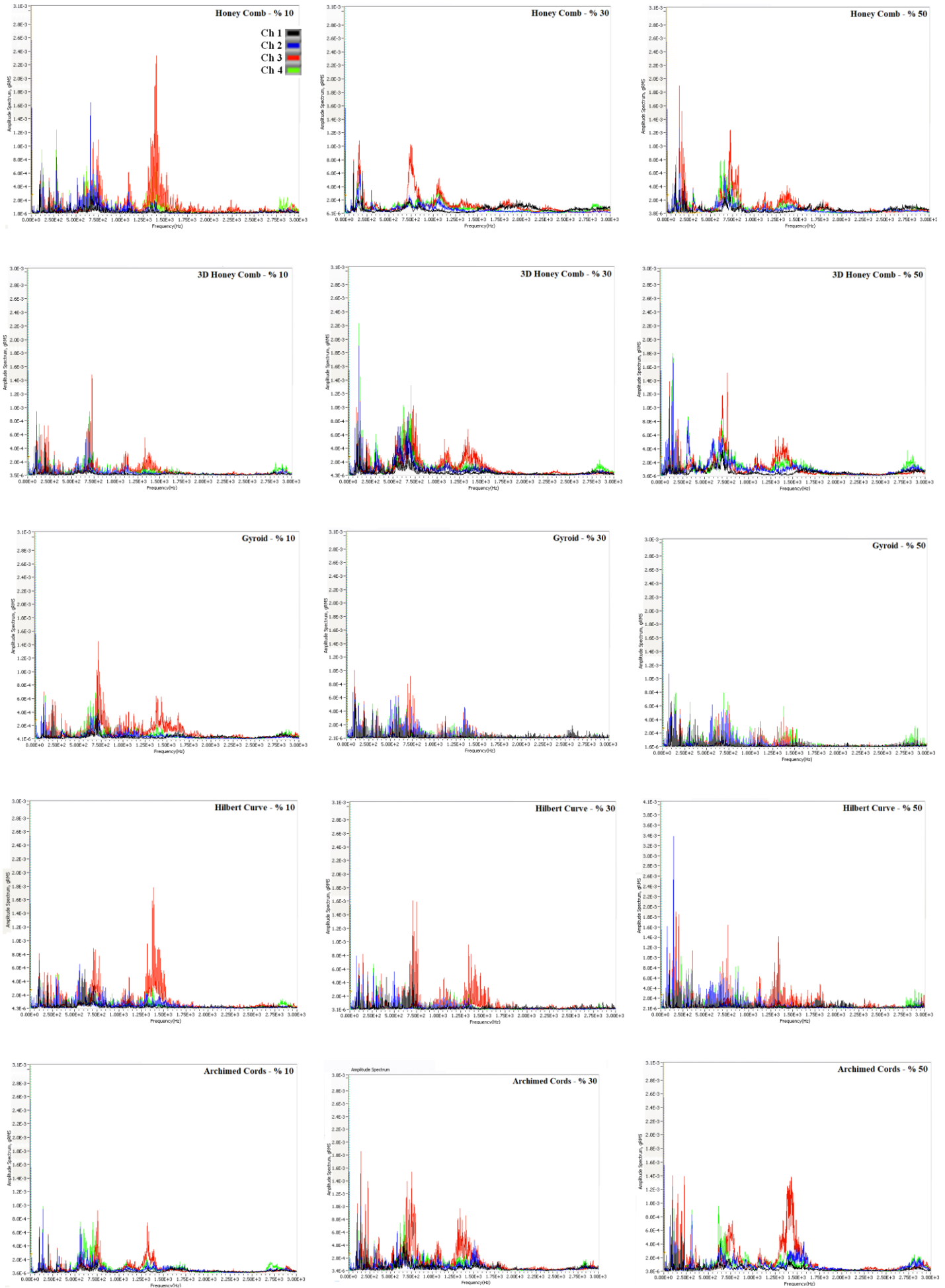
Titreşimi sönmüleme kabiliyetlerinin % 50 doluluk oranında ve Gyroid, 3D Honeycomb ve Archimed cords doldurma şekillerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Bir grafikte 4 kanal her kanal farklı renk (Ch 1-Siyah, Ch 2 - Mavi, Ch 3 - Kırmızı ve Ch 4 - Yeşil) olmak üzere Şekil 5'te kovan yatak verilerinin grafikleri olarak sunulmuştur. Verilerin en yüksek tepe değeri ve ikinci en yüksek tepe değerlerini doğrular nitelikte olduğu

görülmüştür. Ayrıca, Ch 2 ve Ch 3 kanallarında daha yüksek genlik değerlerinin olduğu dikkat çekmektedir. Bu da mil ucuna takılan diskin düşey doğrultuda titreşim genliği değerlerini daha fazla etkilediği düşünülmektedir.

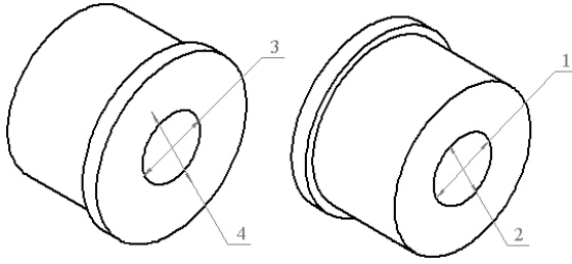


Şekil 4. En yüksek titreşim genlik tepe değerleri (The maximum peaks of vibration values)



Şekil 5. Kovan yataklar için titreşim genlik spektrumu  
(Vibration amplitude spectrum for sleeve bearings)

Kovan yataklar test düzeneğine takılmadan önce ölçülmüştür ve üretimde iç delik ölçüleri  $25,40 \pm 0,05$  mm olarak belirlenmiştir. Test düzeneğine kovan yataklar montaj edildikten sonra ön bölgesinden (1 düşey düzlemde, 2 yatay düzlemde) ve arka bölgesinden (3 düşey düzlemde, 4 yatay düzlemde) olarak numaralandırılmıştır. Testler bittikten sonra Şekil 6'da kovan yatakların iç çap ölçüm bölgeleri 3B model üzerinde işaretlenerek gösterilmiştir.



Şekil 6. Kovan yatakların iç çap ölçüm bölgeleri (Inner diameter measurement locations of sleeve bearings)

Çizelge 4'te kovan yatakların iç çap ölçüm değerlerinin ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4. Kovan yatakların iç çap ölçüm değerleri (Inner diameter measurement values of sleeve bearings)

Doldurma şekli	Yatak	Doluluk oranı (%)		
		10	30	50
Honeycomb	1	25,60	25,47	25,53
	2	25,63	25,50	25,53
3D Honeycomb	1	25,63	25,49	25,46
	2	25,58	25,49	25,50
Gyroid	1	25,64	25,52	25,50
	2	25,65	25,53	25,50
Hilbert curve	1	25,58	25,52	25,51
	2	25,59	25,53	25,49
Archimed cords	1	25,57	25,60	25,51
	2	25,59	25,59	25,53

Yapılan deneyler sonunda kovan yatakların iç çap değişimi dört ayrı yerden ölçülmüş ve ortalama değerler verilmiştir. Motora yakın kullanılan yatak (1) ve uzak kullanılan yatak (2) değerleri kıyaslandığında çapı 25,40 mm olan mile uygun toleransta kararlı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

Özellikle % 50 doluluk oranı ile 3D Honeycomb doldurma şekline sahip kovan yatağın uygun çalışma boşluk toleransında kaldığı görülmüştür. Genelde kovan yatak mil arasındaki uygun boşluğun 0,050 mm olması tavsiye edilir.

#### 4. SONUÇ ((CONCLUSION))

Bu çalışmada, FDM yöntemi ile üretilen kovan yataklar oluşturulan mil-yatak sisteminde titreşimi sönümleme kabiliyetleri deneysel olarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, farklı doldurma şekilleri ve doluluk oranlarında PA12 filament malzemeden üretilen kovan yatakların titreşimi sönümleme kabiliyetlerinde önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. En yüksek tepe değeri Ch2 kanalında % 10 doluluk oranı ve Gyroid yazdırma şekli olan kovan yatakta ve ikinci en yüksek tepe değeri ise yine Ch2 kanalında % 50 doluluk oranı ve Hilbert curve yazdırma şekli olan kovan yatakta olduğu görülmüştür. Genel olarak % 10 doluluk oranlarında genlik değerlerinin daha yüksek, doluluk oranları arttıkça daha düşük genlik değerlerinin olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Ch2 ve Ch3 kanallarında daha yüksek genlik değerleri oluşmuştur. Buna göre mil ucuna takılan diskin düşey doğrultuda titreşim genliği değerlerini daha fazla etkilediği düşünülmektedir.

Gyroid, 3D Honeycomb ve Archimed cords doldurma şekillerinde daha düşük tepe değerlerinin olduğu görülmüştür. Titreşimi sönümleme kabiliyetlerinin % 50 doluluk oranında ve Gyroid, 3D Honeycomb, Archimed cords doldurma şekillerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir. Hilbert curve doldurma şeklinde sönümleme etkisinin diğer doldurma şekillerine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Mil-yatak sistemlerinde FDM yöntemi ile üretilen kovan yataklarda doluluk oranı ve doldurma şekillerinin titreşimi sönümleme kabiliyetleri üzerinde etken olduğu belirlenmiştir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: BAP - 2018.22.01.773) tarafından desteklenmiştir. BAP birimine teşekkür ederiz. 3rd International Engineering Research Symposium (INERS'19) sempozyumunda sunulmuştur.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI

##### (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.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Menderes KAM:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**Hamit SARUHAN:** Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Ahmet İPEKÇİ:** Deneyleri yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

**ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)**

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] Kruth J. P., Levy G., Klocke F. and Childs T. H. C. "Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing", *CIRP annals*, 56(2): 730-759, (2007).
- [2] Bourell D. L., Leu M. and Rosen D. "A brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead", *Proceedings of RapidTech*, 24-25, (2009).
- [3] Huang, Y., Leu, M. C., Mazumder, J. and Donmez, A. "Additive manufacturing: current state, future potential, gaps and needs, and recommendations", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 137(1): 014001, (2015).
- [4] İpekçi A., Kam M. and Saruhan H. "Investigation of 3D printing occupancy rates effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G material products", *Journal of New Results in Science*, 7(2): 1-8, (2018).
- [5] Kam M., İpekçi A. and Saruhan H. "Investigation of 3D printing filling structures effect on mechanical properties and surface roughness of PET-G material products", *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*. 6(ISMSIT2017): 114-121, (2017).
- [6] Kam M., Saruhan H. and İpekçi A. "Investigation the effects of 3d printer system vibrations on mechanical properties of the printed products", *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(3): 655-666, (2018).
- [7] Kam M., Saruhan H. and İpekçi A. "Investigation the Effect of 3D Printer System Vibrations on Surface Roughness of the Printed Products", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(2): 147-157, (2019).
- [8] Kam M., Saruhan H. ve İpekçi A. "Farklı Doldurma Şekillerinin Üç Boyutlu Yazıcılarda Üretilen Ürünlerin Mukavemetine Etkisi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3): 951-960, (2019).
- [9] Bagsik A. and Schöppner V. "Mechanical properties of fused deposition modeling parts manufactured with Ultem 9085", *Proceedings of ANTEC*, (2011).
- [10] Özdemir M. A., Evlen H., ve Çalışkan A. "Doluluk oranının PLA ve PET malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisi", *3B Baskı Teknolojileri Uluslararası Sempozyumu*, İstanbul, (2016).
- [11] Sood A. K., Ohdar R. K. and Mahapatra, S. S. "Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts", *Materials and Design*, 31(1): 287-295, (2010).
- [12] Onwubolu G. C. and Rayegani F. "Characterization and optimization of mechanical properties of ABS parts manufactured by the fused deposition modelling process", *International Journal of Manufacturing Engineering*, 1-13, (2014).
- [13] Smith W. C. and Dean R. W. "Structural characteristics of fused deposition modeling polycarbonate material", *Polymer testing*, 32(8): 1306-1312, (2013).
- [14] Durgun I. and Ertan R. "Experimental investigation of FDM process for improvement of mechanical properties and production cost", *Rapid Prototyping Journal*, 20(3): 228-235, (2014).
- [15] Torrado A.R., and Roberson D.A. "Failure analysis and anisotropy evaluation of 3D-printed tensile test specimens of different geometries and print raster patterns", *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 16, 154-164, (2016).
- [16] Mohamed O.A., Masood S. H., Bhowmik J. L., Nikzad M. and Azadmanjiri J. "Effect of Process Parameters on Dynamic Mechanical Performance of FDM PC/ABS Printed Parts Through Design of Experiment", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1-14, (2016).
- [17] Gray R. W., Baird D. G. and Helge Böhn J. "Effects of processing conditions on short TLCP fiber reinforced FDM parts", *Rapid Prototyping Journal*, 4,(1): 14-25, (1998).
- [18] Es-Said O. S., Foyos J., Noorani R., Mendelson M., Marloth R. and Pregger B. A. "Effect of layer orientation on mechanical properties of rapid prototyped samples", *Materials and Manufacturing Processes*, 15(1): 107-122, (2000).
- [19] Domingo-Espin M., Borros S., Agullo N., Garcia-Granada A. A. and Reyes G., "Influence of building parameters on the dynamic mechanical properties of polycarbonate fused deposition modeling parts", *3D Printing and Additive Manufacturing*, 1(2): 70-77, (2014).
- [20] Chin Ang K., Fai Leong K., Kai Chua C. and Chandrasekaran M. "Investigation of the mechanical properties and porosity relationships in fused deposition modelling-fabricated porous structures", *Rapid Prototyping Journal*, 12(2): 100-105, (2006).
- [21] Riza, E. I., Budiyanoro, C., Nugroho, A. W. "Peningkatan kekuatan lentur produk 3D printing berbahan PetG dengan optimasi parameter proses menggunakan metode taguchi", *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(2): 66-75, (2020).
- [22] Saruhan H. and Kam M. "Experimental spectral analysis of split sleeve bearing clearance effect on a rotating shaft system", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 13(4): 1-8, (2016).
- [23] Kam, M. Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalı, Düzce, (2016).
- [24] Kam, M., Saruhan, H. and İpekçi, A. Investigation of surface treatment effect on mechanical properties of printed products by fused deposition modelling method, *IV. International Academic Research Congress*, (2018).
- [25] Kam, M., Saruhan, H. and İpekçi, A. Surface treatments effect on surface roughness of printed products by fused deposition modelling method. *IV. International Academic Research Congress*, (2018).
- [26] Kam, M., Saruhan, H. and İpekçi, A. "Determination of optimum printing parameters of printed products by open and closed type of 3D printer systems with different filament materials", *IV. International Academic Research Congress*, (2018).
- [27] EOS Material (2015), PA 12 (PA 2200 Balance 1.0), 21.04.2019 tarihinde EOS Material Data Center sitesi: <http://eos.materialdatacenter.com/eo/standard/main/ds>.