

## 3B Yazıcı ile PLA Malzemeden Üretilmiş İnce Kirişlerin Yazdırma Yönelim Açısının Doğal Frekans Etkisi

Tuğçe TEZEL<sup>\*1</sup>, Gökmen ATLIHAN<sup>2</sup>, Volkan KOVAN<sup>1</sup>, Eyüp Sabri TOPAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Denizli, Türkiye

<sup>\*1</sup> tugcetezel@akdeniz.edu.tr

(Geliş/Received: 03/05/2018;

Kabul/Accepted: 26/01/2019)

**Özet:** Üç boyutlu yazıcı ile yazdırılmış parçalar, yazdırma yönelim açısının bir fonksiyonu olarak, malzeme özelliklerinde farklılıklar gösterirler. Ayrıca 3B yazdırma malzemesi olarak kullanılan termoplastiklerin özelliklerinin sıcaklığa, frekansa ve şekil değiştirme hızına bağlı olduğu bilinmektedir. Polilaktik asit (PLA); modeller, ilk örnekler ve kullanılabilen parçalar üretmek için 3B yazdırmada en yaygın kullanılan termoplastiktir. Bu çalışmanın amacı, 3B yazıcı ile üretilen PLA kirişlerin titreşim özelliklerindeki değişimlerin, yazdırma yönelim açısının bir fonksiyonu olarak deneysel olarak incelenmesidir. PLA ince kirişler üç farklı yazdırma yönelim açısı (0°, 45° ve 90°) ve üç farklı doluluk oranında (%50, %75 ve %100) üç boyutlu yazıcı ile hazırlanmıştır. Deneyler sonucu, 3B yazdırılmış kirişin doluluk oranı azaldığında doğal frekansların düştüğü ve yazdırma yönelim açısının değişmesiyle doğal frekansların da değiştiği görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** 3B yazıcı, PLA, Yazdırma Yönelim Açısı, Titreşim, Doğal Frekans.

### Effect of Printing Orientation Angle of 3D Printed PLA Thin Beams on The Natural Frequency

**Abstract:** 3D printed parts exhibit differences in material properties as a function of the print orientation. It is also known that thermoplastics used as 3D printing materials' properties depend on temperature, frequency and speed of deformation. Polylactic acid (PLA) is the most widely used thermoplastic in 3D printing to produce models, prototypes and functional parts. The aim of this work is to investigate the changes in the vibration properties of PLA beams produced by 3D printers as a function of print infill orientation and infill ratio experimentally. PLA thin beams at three different infill orientation angles (0°, 45°, 90°) and three different infill ratios (50%, 75% and 100%) are prepared with a 3D printer. Experiments have shown that natural frequencies decrease when infill ratio in the 3d printed beam decreases and the natural frequencies change with the change of infill angle.

**Key words:** 3D printer, PLA, Infill Orientation Angle, Vibration, Natural Frequency

#### 1. Giriş

Titreşim, bir denge noktası etrafında salınımların meydana geldiği mekanik bir olgudur. Salınımlar, bir motorun hareketi gibi periyodik veya yol üzerindeki otomobilin hareketi gibi düzensiz olabilir. Bir cep telefonu veya bir hoparlörde titreşim arzu edilse de çoğu durumda titreşim, mekanik bir yapıda hasara neden olacağı için istenmemektedir. Geçmişte tasarımlar oldukça büyük kütlelere sahip ahşap, taş vb. malzemelerden olduğundan, sistemlerin kütleli özelliklerinin yanında titreşim doğurucu dış etkenler önemsiz seviyelerdedir. Günümüzde ise teknolojik gelişmelere paralel olarak geliştirilen malzemeler ve imalat yöntemleriyle elde edilen daha hafif tasarımlar ile birlikte titreşimin etkileri daha önemli hale gelmektedir. Özellikle 4. Endüstri devrimi ile birlikte günümüzde hafiflik ve yüksek hız, hem teknik hem de ekonomik tasarım kriterlerini sağlayarak sistemlerde aranan en önemli özellik olmuştur. Bu amaçla hafifleyen tasarımlar ile birlikte, tasarımları hasara uğratacak doğal titreşim frekanslarının tespiti daha önemli bir hal almıştır. Çünkü, uyarıcı dış etkenlerden bir veya birkaçının frekansının sistemin doğal titreşim frekansıyla çakışması halinde hasara neden olan rezonans meydana gelecektir [1]. 4. Endüstri devrimi ile birlikte üç boyutlu yazdırma teknolojisi hızla gelişmektedir. Bu imalat yönteminde bilgisayar destekli tasarım araçları kullanılarak katmanlar halinde malzeme yığılmasıyla katı bir model, ilk örnek veya kullanılabilen parçalar üretilmektedir. Farklı prensipler ile parça imalatı yapılan üç boyutlu yazdırma teknolojileri arasında en ekonomik yöntemlerden bir tanesi ergiyik biriktirme tekniğidir (FDM, fused deposition modeling). FDM ticari kullanımı 1990'lı yıllarda başlamış nispeten yeni bir teknolojidir.

\* Sorumlu yazar: tugcetezel@akdeniz.edu.tr Yazarların ORCID Numarası : <sup>1</sup> 0000-0003-0139-442X <sup>3</sup> 0000-0002-0599-525X <sup>4</sup> 0000-0002-3974-060X

Günümüzde birçok araştırmacı tarafından yazdırma süreçleri ve parametrelerinin FDM ile elde edilen numunenin özelliklerini önemli derecede etkilediği rapor edilmiştir.

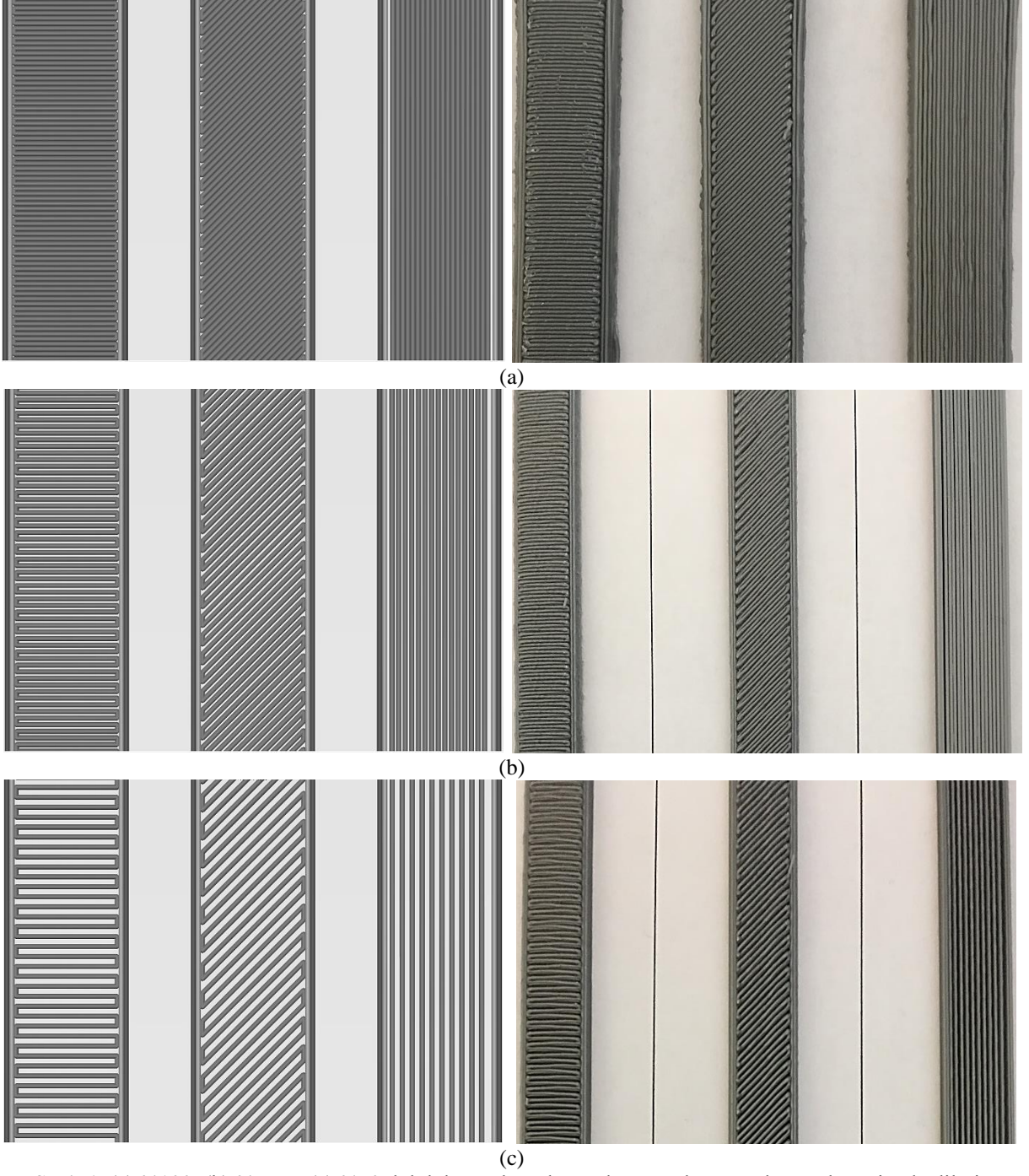
Yapılan literatür araştırmasına göre titreşim davranışı sınırlı sayıda çalışmada incelenmiştir. Chaitanya vd. çalışmalarında FDM tekniği ile ABS termoplastik malzeme kullanarak deney numuneleri imal etmişlerdir. Deney numunelerini yazdırma tablasına üç farklı yönelimde yerleştirmişler ve üç farklı katman kalınlığı kullanmışlardır. Deneyler sonucu farklı yönelimler ve katman kalınlıkları kullanılarak elde edilen numunelerin doğal titreşim frekanslarının birinci titreşim modunda değişmediği, ikinci ve üçüncü titreşim modunda ise değişimlerin önemli seviyelere ulaştığı belirtilmiştir [2]. Yadav vd. ABS malzemeden "I" şeklinde 3, 4, 5 ve 6 mm kalınlığında numuneleri FDM tekniği ile üretmişlerdir. Yazdırma parametresi olarak  $0^{\circ}/90^{\circ}$  ve  $-45^{\circ}/+45^{\circ}$  yazdırma yönelim açıları kullanarak titreşim davranışlarına etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucu artan numune kalınlığı ile doğal titreşim frekansının arttığı ve artan kalınlıkla yazdırma tarama açısının doğal titreşim frekansına etkisinin azaldığı ortaya konmuştur [3]. Raffic vd. PET-G ve ABS malzemeleri kullanarak FDM tekniği ile  $150 \times 20 \times 6$  mm boyutlarında numuneler yazdırmışlardır. Yazdırma esnasında %50 ve %100 doluluk oranlarını, 0,15mm ve 0,20 mm katman kalınlıklarını, 45 mm/s ve 55 mm/s yazdırma hızlarını deney parametreleri olarak kullanmışlardır. Deneyler sonucu, en düşük titreşim frekansını ABS malzemeden %50 doluluk oranı, 0,15 mm katman kalınlığı ve 55 mm/s yazdırma hızında imal ettikleri numunelerden elde etmişlerdir. En küçük titreşim genliğinin ise PET-G malzemeden %100 doluluk oranı, 0,20mm katman kalınlığı ve 55 mm/s yazdırma hızında imal edilen numuneden elde edildiği ifade edilmiştir [4].

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, yazdırma yönelimleri ve ABS malzemenin doğal titreşim özellikleri incelenmiştir. Ancak 3B yazdırılmış PLA malzemenin doğal titreşim özelliklerini tanımlayan herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı 3B yazdırılmış PLA malzemenin doğal titreşim davranışını karakterize etmektir. 3B yazdırılmış PLA malzemenin anizotropik özelliklerini incelemek için de, farklı yazdırma açılarına sahip numuneler kullanılmıştır. Özellikle, yazdırma yönelimi ve boşlukların değişen açısı ile doğal titreşim frekansının küçülmesi ile çalışma frekansına eşit olması durumunda yapının rezonans girme ihtimali bulunmaktadır. Ortaya çıkabilecek rezonans ve sebep olacağı hasarın önlenmesi için, frekanstaki değişimlerin bilinmesi çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

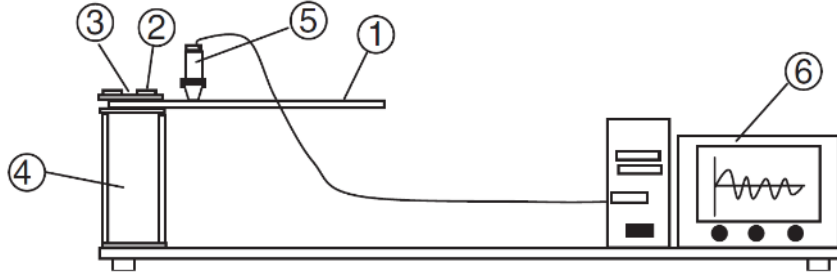
## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada üretilen ince kiriş teorisine uygun  $200 \times 10 \times 2$  mm boyutlardaki numuneler, colorFabb firması tarafından üretilen 1,75 mm çapında PLA filament kullanılarak üretilmiştir. PLA organik kaynaklardan elde edilen biyolojik olarak parçalanabilir bir termoplastiktir. Amorf içyapısı ile PLA, FDM sistemleri için uygun bir malzemedir. Doğal titreşim frekansının ölçüleceği bu numuneler, Zmorph yazıcı kullanılarak imal edilmiştir. 3D yazıcı  $250 \times 235 \times 165$  mm boyutlarında bir modeli X ve Y eksenleri için  $14 \mu\text{m}$ , Z eksen için  $0,625 \mu\text{m}$  konumlama hassasiyeti ile imal edebilmektedir. Deney numunelerinin yazdırılmasında, tüm numuneyi tek bir yazdırma yönelim açısında imal edebilmek için özel hazırlanan 3B yazdırma kodları kullanılmıştır. Tüm numuneler, mümkün olduğunca benzer şekilde üretilmek için yazdırma yatağının merkezinde tek seferde yazdırılmıştır. Tüm numuneler için, numune çevresine 2 kabuk kullanılmış ve numunenin iç kısmı, sadece belirlenen yazdırma açılarında ( $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  ve  $90^{\circ}$ ) ve %50, %75 ve %100 dolgu kullanılarak yazdırılmıştır. PLA malzeme,  $65^{\circ}\text{C}$  ısıtılmış yazdırma yatağına,  $195^{\circ}\text{C}$ 'de, 40 mm/s hızda ve 0,1mm katman kalınlığında ekstrude edilmiştir. Şekil 1'de doğal titreşim frekansı ölçümünde kullanılan numunelerin yazdırma yönleri ve dolgu oranları görülmektedir.

İnce kirişlerin titreşim analizinde genellikle kirişe bir sinyal verilir ve bu verilen sinyalin titreşim grafiğinden doğal titreşim frekansı hesaplanır. Çalışmadaki ölçümlerde de bu amaçla, Şekil 2'de şematik olarak verilen, 3B yazdırılmış ince kiriş numuneler (1) bir ucundan civatayla (2) tutturulup diğer ucu serbest bırakılarak ankastre haline getirilmiştir. Doğal titreşim frekansı ölçümünde, sinyali alan ivme ölçer (5), sinyali yükseltmesi için bir amplifikatör, veri toplama kartı ve bilgisayardan (6) oluşan test düzeneği kullanılmıştır. Sinyalin analizinde öncelikle titreşim analizi yapılacak olan kirişe kontrollü darbe çekici aracılığıyla bir sinyal uygulanmış ve bu sinyal ivme ölçer tarafından toplanmıştır. Çalışmada kullanılan Wilcoxon marka (model 786C) ivme ölçer ile 1-14000 Hz çalışma frekansı aralığında veriler toplanabilmektedir. İvme ölçerin topladığı sinyaller, amplifikatör ve veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayardaki Advantech marka veri toplama kartı aracılığıyla alınan veriler, "Fast Fourier Transform (FFT)" analizi yapılarak ince kirişin doğal titreşim frekans değerleri hesaplanmıştır.



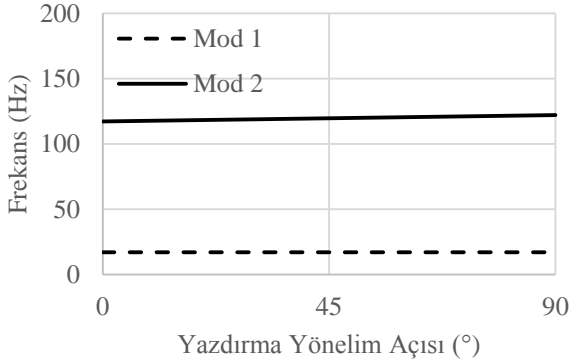
**Şekil 1.** (a) %100, (b) %75 ve (c) %50 doluluk oranlarında yazdırma açılarının takım yolu ve imal edilmiş numune görünümü



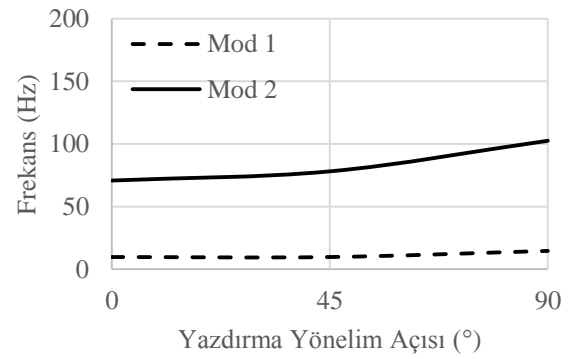
Şekil 2. 3B yazdırılmış PLA ince kirişlerin titreşim ölçümleri için kullanılan deney düzeneği [5].

### 3. Bulgular ve Tartışma

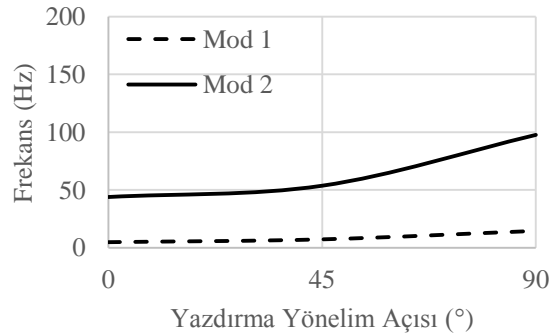
Şekil 3'te farklı doluluk oranlarına sahip 3B yazdırılmış PLA ince kirişlerin ankastre sınır koşulundaki doğal frekans değişimleri görülmektedir. %100 (Şekil 3a), %75 (Şekil 3b) ve %50 (Şekil 3c) doluluk oranı için Mod I ve Mod II verileri üç farklı grafik ile sunulmuştur. Şekil 3a'da görüldüğü üzere, %100 doluluk oranında 3B yazdırılmış numunelerde, yazdırma yönelim açısının değişmesiyle titreşim davranışında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Ancak, doluluk oranının azalmasıyla birlikte, yazdırma yönelim açısı titreşim frekansını etkilemeye başlamaktadır. Yazdırma yönelim açısının doğal titreşim frekansı üzerine etkisinin Mod II'de daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 3b ve 3c'den görüldüğü üzere azalan doluluk oranı ile en yüksek doğal titreşim frekansı değeri  $90^\circ$  yönelim açısında yazdırılmış numunelerde elde edilmiştir.  $90^\circ$  yönelim açısının ardından,  $45^\circ$  yönelim açısı ile yazdırılmış numunelerin doğal titreşim frekansı değeri yüksektir. Doğal titreşim frekansı değeri en düşük olan numuneler ise  $0^\circ$  yönelim açısı ile yazdırılmış numunelerden elde edilmiştir.



(a) %100 doluluk oranı



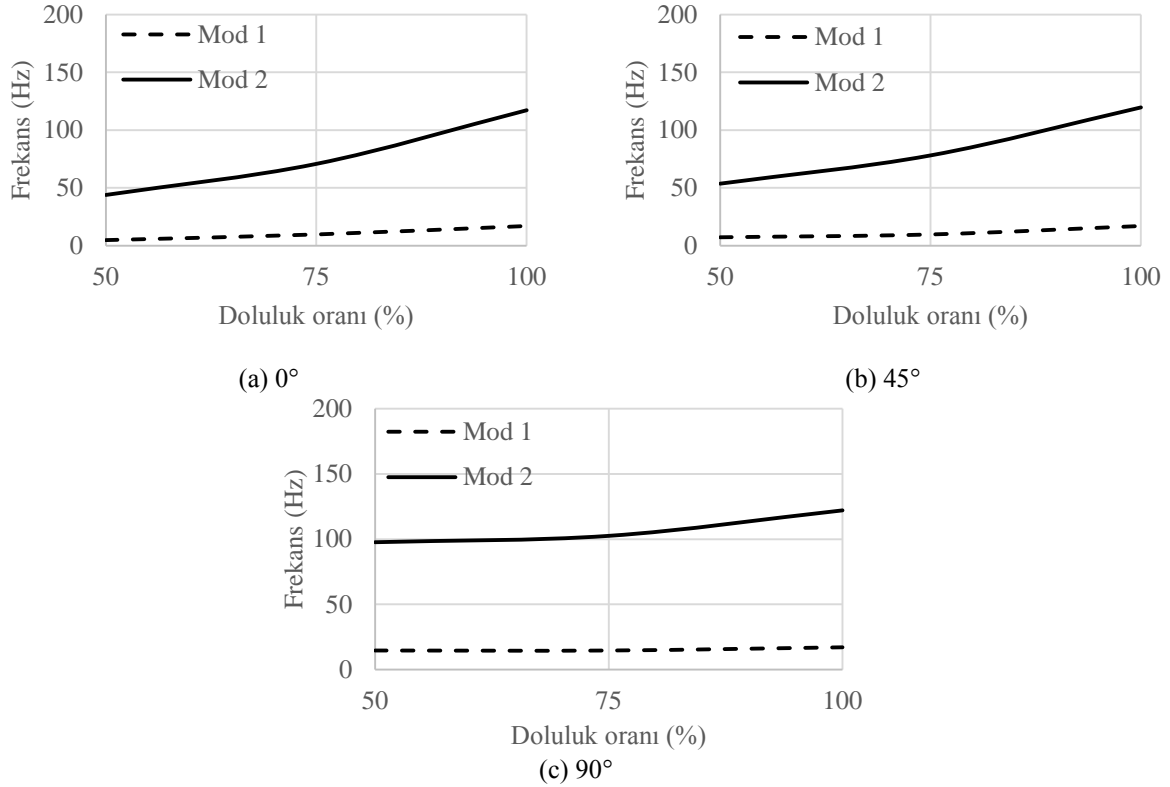
(b) %75 doluluk oranı



(c) %50 doluluk oranı

Şekil 3. Farklı doluluk oranlarında doğal titreşim frekansı Mod I ve Mod II değişimi

Şekil 4'te ise farklı yazdırma yönelim açılarında sahip 3B yazdırılmış PLA ince kirişlerin ankastre sınır koşulundaki doğal frekans değişimleri görülmektedir.  $0^\circ$  (Şekil 4a),  $45^\circ$  (Şekil 4b) ve  $90^\circ$  (Şekil 4c) yazdırma yönelim açıları için Mod I ve Mod II verileri yine üç farklı grafik ile sunulmuştur. Bu üç grafikte de Mod I kesik çizgi ile, Mod II ise düze çizgi ile gösterilmiştir. Her üç grafikte görüldüğü üzere, tüm yazdırma yönelim açılarındaki 3B yazdırılmış numunelerde, doluluk oranının değişmesiyle titreşim davranışında değişimler gözlemlenmiştir. Ancak, bu değişim  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  yazdırma açılarındaki daha önemli iken,  $90^\circ$  yazdırma açısında daha az belirgin haldedir. Doluluk oranının da doğal titreşim frekansı üzerine etkisinin Mod II'de daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 4a, 4b ve 4c'den görüldüğü üzere değişen yazdırma yönelim açısı ile birlikte en yüksek doğal titreşim frekansı değeri %100 doluluk oranında yazdırılmış numunelerde elde edilmiştir. Ardından sırasıyla %75 ve %50 doluluk oranında yazdırılmış numuneler gelmektedir.



Şekil 4. Farklı yazdırma açılarındaki doğal titreşim frekansı Mod I ve Mod II değişimi

Gelecek çalışmalarda, 3B yazdırılmış PLA numuneler ile daha fazla titreşim deneyi yapılarak farklı yazdırma yönlerinin ve doluluk oranının yanı sıra, numunelerin katman sayısı ve farklı sıcaklıklar altındaki davranışları da incelendiğinde PLA numunelerin titreşim davranışları daha iyi anlaşılacaktır. Ancak bir başlangıç çalışması olarak bu çalışma 3B yazdırılmış PLA numunelerin titreşim davranışına yazdırma yöneliminin etkisi hakkında önemli bilgiler vermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada, üç farklı yazdırma açısı ve doluluk oranında Zmorph 3B yazıcı kullanılarak imal edilen PLA numunelerin titreşim davranışı incelenmiştir. Deneyler sonucu farklı yazdırma yönleri ve doluluk oranları için PLA malzemenin deney sonuçlarına dayanarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- %100 doluluk oranı için yazdırma parametrelerinin doğal titreşim frekansı üzerine etkisi önemsiz seviyelerdedir.
- Mod I ve Mod II doğal titreşim frekanslarının en yüksek değerleri %100 doluluk oranı için elde edilmiştir.
- En düşük doğal titreşim frekansı değeri %50 doluluk oranı ve  $0^\circ$  yazdırma yönelim açısı için elde edilmiştir.

- 3B yazdırılmış numunelerle ilgili daha fazla titreşim deneyi yapılacaksa, farklı katman kalınlıkları ve sıcaklıklar altında yapılmalıdır. Böylece PLA malzemenin titreşim davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlanacaktır.
- Gelecekteki titreşim testlerinde, ölçüm doğruluğunu artırmak için temassız optik ölçme sistemleri kullanılırsa daha hassas doğal titreşim frekansı değerleri elde edilebilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2017-2808 numaralı proje ile desteklenmiştir.

The third International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry (3D-PTC2018) kongresinde sunulmuş ve özet olarak yayınlanmıştır.

### **Kaynaklar**

- [1] Atlıhan G. Süreksizlik bölgesine sahip tabakalı kompozit kirişlerin titreşimi. Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi , Denizli, Türkiye, 2010.
- [2] Chaitanya SK, Reddy KM, Ch SNSH. Vibration Properties of 3D Printed/Rapid Prototype Parts. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol 2015; 4 6): 4602-4608.
- [3] Yadav HM, Kumar GS, Reddy YVM. Experimental and Finite Element Analyses of an I-Shaped Prototype for Different Orientations and Thicknesses. Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. 2016 ;5 (9):17058-17063.
- [4] Raffic NM, Ganesh babu K, Kannan MM, Arul Mani G, Nandhu Krishnan R., Midhuvin G. Effect Of Fdm Process Parameters On Vibration Properties. IJMPE. 2017;3 (1): 28-38.
- [5] Atlıhan G, Callioglu H, Conkur ES, Topcu M, Yucel U. Free Vibration Analysis of the Laminated Composite Beams by Using DQM. J. Reinf. Plast. Compos. 2009; 28 (7): 881-892.