



# Eriyik yığma modelleme ile farklı yazdırma parametrelerinde üretilen yapıların titreşim sönümlenme özelliklerinin torna tezgâhı üzerinde deneysel araştırılması

## Experimental investigation of the vibration damping properties of structures produced with different printing parameters on a lathe using fused deposition modeling

Çağlar Sevim<sup>1,\*</sup> , Mehmet Parlak<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde Türkiye

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 38280, Kayseri, Türkiye

### Öz

Eriyik yığma modelleme teknolojisinin gelişimi ile istenilen özelliklerde tasarımı yapılan malzemelerin ve yapıların üretilmesi mümkün hale gelmiştir. Özellikle yazdırma açısı, doluluk oranı ve içyapı gibi yapısal yazdırma parametrelerinin, üretilen yapının mekanik özellikleri üzerinde son derece etkili olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Bu çalışmada ise, farklı doluluk oranı ve içyapılarda üretilen yapıların titreşim sönümlenme özellikleri, bir torna tezgâhı üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sonucunda, içyapı ve doluluk oranının yapının sönümlenme özelliği üzerinde etkili olduğu saptanmış ve bu sayede farklı yazdırma parametreleriyle uygulamaya özel ve istenilen sönüm özelliğini gösterebilecek izolatörlerin tasarlanabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Eriyik yığma modelleme, 3B yazıcı, Doluluk oranı, İçyapı, Titreşim sönümlenme, Eklemeli imalat

### 1 Giriş

Genellikle 3 boyutlu yazdırmayı ifade eden eklemeli imalat 1980'lerin sonundan itibaren ortaya çıkmıştır. Son yıllarda; hızlı prototipleme, ihtiyaca uygun yüksek seviyede özelleştirme ve uygun maliyet gibi birçok avantajından dolayı endüstrinin havacılık [1], tıp [2], biyo-üretim [3] vb. alanlarında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Malzeme ekstrüzyon teknolojisi, eriyik yığma modelleme (EYM) olarak da bilinir ve ISO/ASTM 52900 [4] standartlarına göre tanımlanmıştır. Bu süreçte, filament adı verilen hammadde, ısıtılmış bir yazdırma ağızına itilerek yarı sıvı hale getirilir ve erimiş malzeme yazdırma ağızından çıkarılarak nihai yapının katmanlarını oluşturmak için ekstrüde edilir [5].

EYM teknolojisinin hızlı gelişimi bu konudaki akademik araştırmaların da sayısını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle bu teknolojiyle üretilen yapıların mekanik özelliklerini ve davranışlarını ortaya koymak için yapılan çalışmalar ön plana çıkmaktadır [6, 7]. Eriyik Yığma Modelleme (EYM) ile üretilen parçaların mekanik özellikleri, geleneksel üretim teknikleriyle üretilen yapıların aksine, sadece hammadde türüne bağlı değildir. Aynı zamanda, yazdırma parametreleri

### Abstract

With the advancement of fused deposition modeling technology, it has become possible to produce materials and structures designed with desired properties. Studies have shown that structural printing parameters such as printing angle, infill density, and internal structure significantly affect the mechanical properties of the produced structure. In this study, the vibration damping properties of structures produced with different infill densities and internal structures were experimentally investigated on a lathe. The experiments revealed that internal structure and infill density significantly influence the damping properties of the structure. Consequently, it was demonstrated that isolators with application-specific and desired damping properties can be designed using different printing parameters.

**Keywords:** Fused deposition modelling, 3D printing, Infill rate, Internal structure, Vibration damping, Additive manufacturing

de bu özellikleri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu parametreler üretim parametreleri ve yapısal parametreler olmak üzere iki ana kısma ayrılabilir. Üretim parametreleri yazdırma ağız sıcaklığı ve yazdırma hızı iken, yapısal parametreler ise doluluk oranı, yazdırma açısı, yazdırma ağız çıkış büyüklüğü ve katman kalınlığıdır [8]. Parametrelerin fazla sayıda ve karmaşık olmalarına rağmen bunlar arasındaki ilişki ve özellikleri birçok çalışmada yer almıştır [9-13]. Bununla birlikte bu çalışmanın da konusu olan titreşim sönümlenme özelliği ile yazdırma parametreleri arasındaki ilişkileri de ortaya koymaya yönelik farklı çalışmalar da yapılmıştır [14-19]. Bu çalışmalardan görüleceği üzere EYM teknolojisi ile üretilen yapılar titreşim sönümlenme özelliğine sahip olmakla beraber literatürde doğrudan uygulamaya yönelik bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bilindiği üzere mekanik titreşimler makineler üzerinde gürültü, yorulma, potansiyel arızalar, parçaların gevşemesi gibi olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Ayrıca tornalama, frezeleme gibi işlemler esnasında iş parçasının yüzey kalitesi üzerinde de olumsuz etkilere sebep olmaktadır [20, 21]. Bu

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: caglar.sevim@ohu.edu.tr (Ç. Sevim)

Geliş / Received: 29.07.2024 Kabul / Accepted: 25.09.2024 Yayınlanma / Published: 15.10.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1521381

olumsuz etkileri azaltmak ve kaçınmak için, makine ile taban arasında esnek izolatörler kullanılmaktadır. Bu izolatörler, titreşimlerin mekanik enerjisini depolar ve bir sönümleme mekanizması aracılığıyla bu enerjiyi dağıtır. Özellikle tornalama gibi yüzey kalitesinin önemli olduğu işlemlerde titreşim yalıtımı çok daha önemli hale gelmektedir [22].

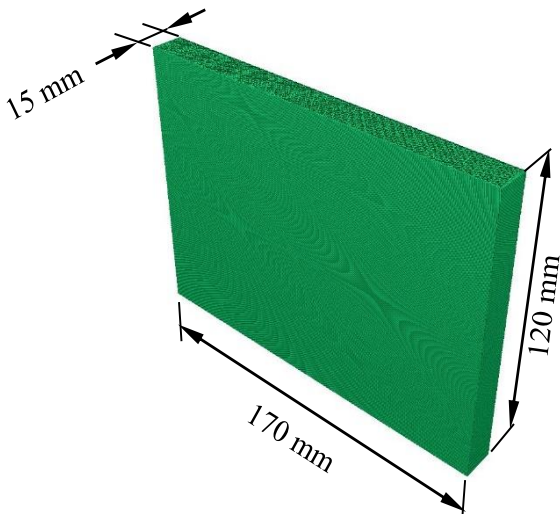
Titreşim yalıtımı için endüstride kullanılan birçok farklı tipte yalıtım elemanı bulunmaktadır. Ayrıca, yukarıda bahsedildiği üzere 3B yazıcıların son yıllarda yaygınlaşması, çeşitli uygulamalar için istenmeyen mekanik titreşimlerin izolasyonu ve kontrolü için farklı alanlarda hızlı çözümlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Baskı işlemi sırasında titreşimin olumsuz etkilerini azaltmak için çeşitli 3B baskılı titreşim yalıtıcı tasarımları önerilmiştir, ancak titreşim yalıtım performansını değerlendirmek için bunlar üzerinde bilimsel olarak titiz bir çalışma yapılmamıştır. Eklemeli imalat yöntemini kullanmanın titreşim yalıtımı için avantajı, belirli bir uygulama için bir izolatör imal etmek amacıyla geometri veya malzemeyi hızlı bir şekilde değiştirerek tasarım ve üretim sürecinin hızlı olmasıdır.

Bu çalışmada EYM ile üretilen yalıtım elemanlarının masa tipi bir torna tezgâhında meydana gelen titreşimleri ne derece sönümleyebildiği ve önemli yazdırma parametrelerinden biri olan doluluk oranının ve içyapı deseninin sönümleme üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

## 2 Sönümleyicinin tasarımı

Şekil 1’de geometrik büyüklükleri verilen numuneler, %80 ve %30 doluluk oranlarında, üçgen ve zigzag desenleri ile 3B yazıcıda üretilmiştir.

Çalışmada, %100 PLA granül esaslı filament kullanılmıştır. PLA (Polilaktik Asit), biyolojik olarak parçalanabilir olması, çevre dostu bir malzeme olması ve 3D yazıcılarla kolay işlenebilmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Ayrıca, düşük büzülme oranı ve boyutsal kararlılığı sayesinde karmaşık geometrilere sahip parçaların yüksek doğrulukla üretimine olanak tanımaktadır. PLA’nın geniş kullanım alanı ve mekanik özellikleri, bu çalışmada titreşim

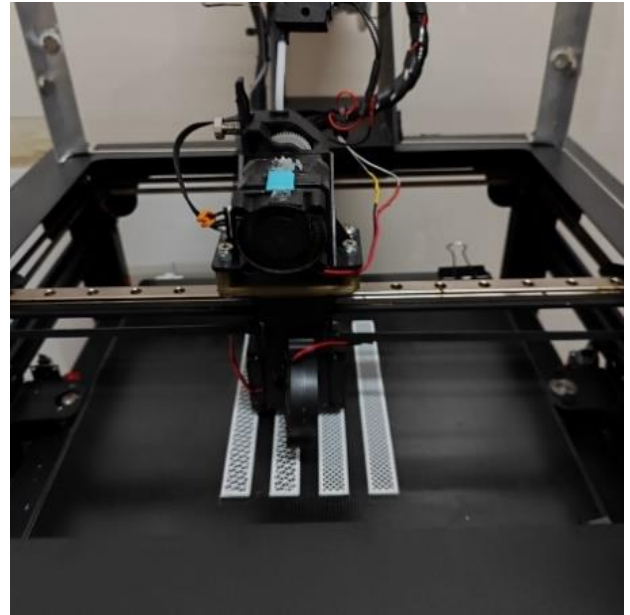


Şekil 1. Numunelerin boyutları ve içyapıları

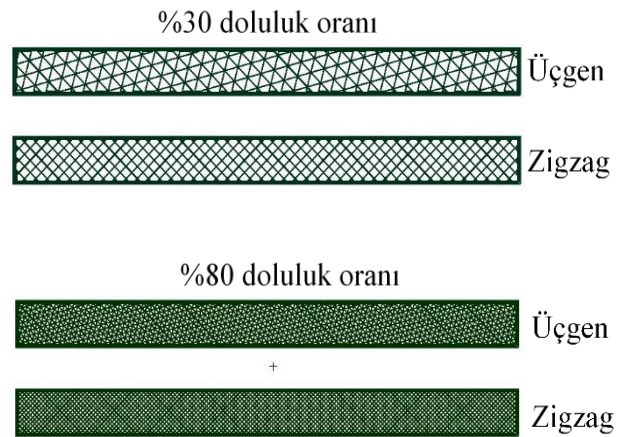
sönümleme performansını analiz etmek için uygun bir malzeme olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan filamentin çapı  $1,75 \text{ mm} \pm 0,05$ , yoğunluğu  $1,252 \text{ g/cm}^3$  ve ideal yazdırma sıcaklığı  $190\text{-}230 \text{ }^\circ\text{C}$ ’dir.

3B yazıcı olarak; 300mm x 300mm ısıtmalı baskı alanına sahip 0,01 mm yazdırma hassasiyetli, X, Y ve Z hareket eksenlerinde lineer kaymalı yataklara ve bilyeli arabalara sahip Sapphire Plus 3B yazıcı kullanılmıştır (Şekil 2).

3B yazıcının filament besleme ünitesi ise, yazdırma doğruluğunu artırmak amacıyla, X eksenindeki hareketli yazdırma kafasında bulunan besleyici motor ünitesi ile doğrudan besleme yapacak şekilde değiştirilmiş, parçalar eşit yazdırma şartlarında yazdırılmıştır. Ölçü doğruluğu sağlamak için yazdırma öncesi yazıcı kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece numuneler istenilen ölçülerde  $\pm 0.01 \text{ mm}$  hassasiyet ile yazdırılmıştır.



Şekil 2. Numunelerin EYM ile üretimi



### 3 Deneysel sistem

Deneyler, Şekil 3'te görüldüğü üzere masaüstü torna tezgâhi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Torna tezgâhi ve torna tezgâhının bulunduğu masa üzerindeki düşey titreşim seviyelerinin ölçülmesi için torna tezgâhi ve masa üzerine ivmeölçerler monte edilmiştir. Deneysel çalışmalarda Brüel & Kjaer 3560B tipi veri toplama sistemi ve 4513B tipi 4 adet ivmeölçer kullanılmıştır. Torna tezgâhi tahrik motoru, çevrim oranları değiştirilebilen kayış kasnak sistemlerine bağlı olarak hareketi aynaya iletmekte ve farklı çalışma hızlarının elde edilmesine imkân sağlamaktadır.

Bu çalışmada deneyler, torna işlemlerinde en sık kullanılan 370 ve 740 d/dk'lık hızlarda gerçekleştirilmiştir.

EYM ile üretilen izolatörler torna tezgâhi ayakları ve masa arasına yerleştirilmiştir. İvmeölçerler, düşey ve yatay titreşimleri elde edebilmek amacıyla, Şekil 4'te görüldüğü üzere, torna tezgâhi gövdesine yerleştirilmiştir. Diğer sensörler ise, torna tezgâhi kaynaklı titreşimlerin iletimini incelemek amacıyla düşey ve yatay eksenlerde masa ayaklarına yerleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar itibarıyla yatay yönde elde edilen titreşim değerleri her bir deney için çok düşük seviyelerde ve aynı değerlerde meydana geldiğinden değerlendirmeye alınmamıştır.

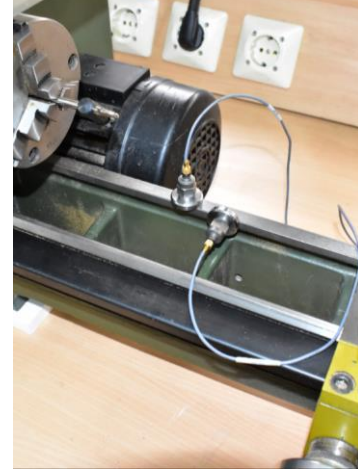
### 4 Sonuçlar

Deneyler sonucunda elde edilen titreşim grafikleri Şekil 5 ve Şekil 6'da sunulmaktadır. Şekil 5a'da yer alan titreşim grafiği, üçgen içyapıya sahip ve %30 ile %80 doluluk oranlarında oluşturulmuş yapıların izolatör olarak kullanılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 5b'deki titreşim grafiği ise aynı doluluk oranlarına sahip ancak zigzag içyapıya sahip yapıların titreşim performansını göstermektedir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi, 370 d/dk'lık çalışma hızı için hem içyapı hem de doluluk oranı açısından önemli bir titreşim farkı gözlemlenmemiştir. Torna tezgâhi titreşim seviyeleri, her iki içyapı ve doluluk oranında 0,5-0,6 m/sn<sup>2</sup> değerleri arasında değişim göstermektedir.

Şekil 6a ve 6b'den elde edilen verilere göre, 740 d/dk hızda çalışan torna tezgâhında alınan titreşim değerleri

arasında hem doluluk oranı hem de içyapı açısından belirgin farklar bulunmaktadır. Şekil 6a, üçgen içyapıya sahip yapıların %30 ve %80 doluluk oranlarındaki titreşim değişimlerini göstermektedir.

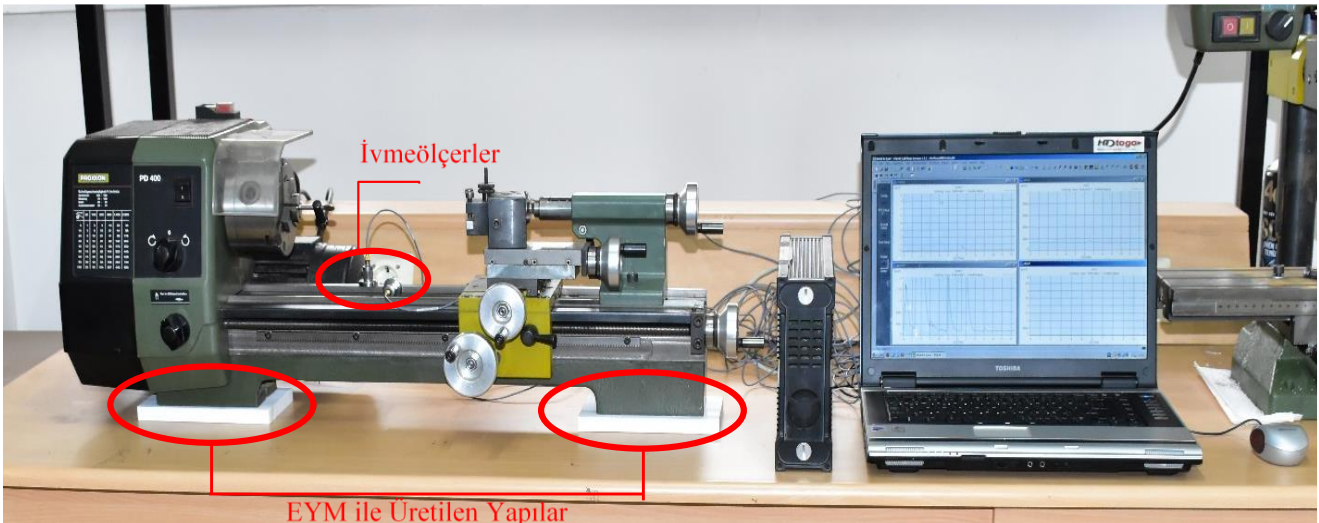


(a)



(b)

Şekil 4. İvmeölçerlerin konumları (a) torna, (b) zemin

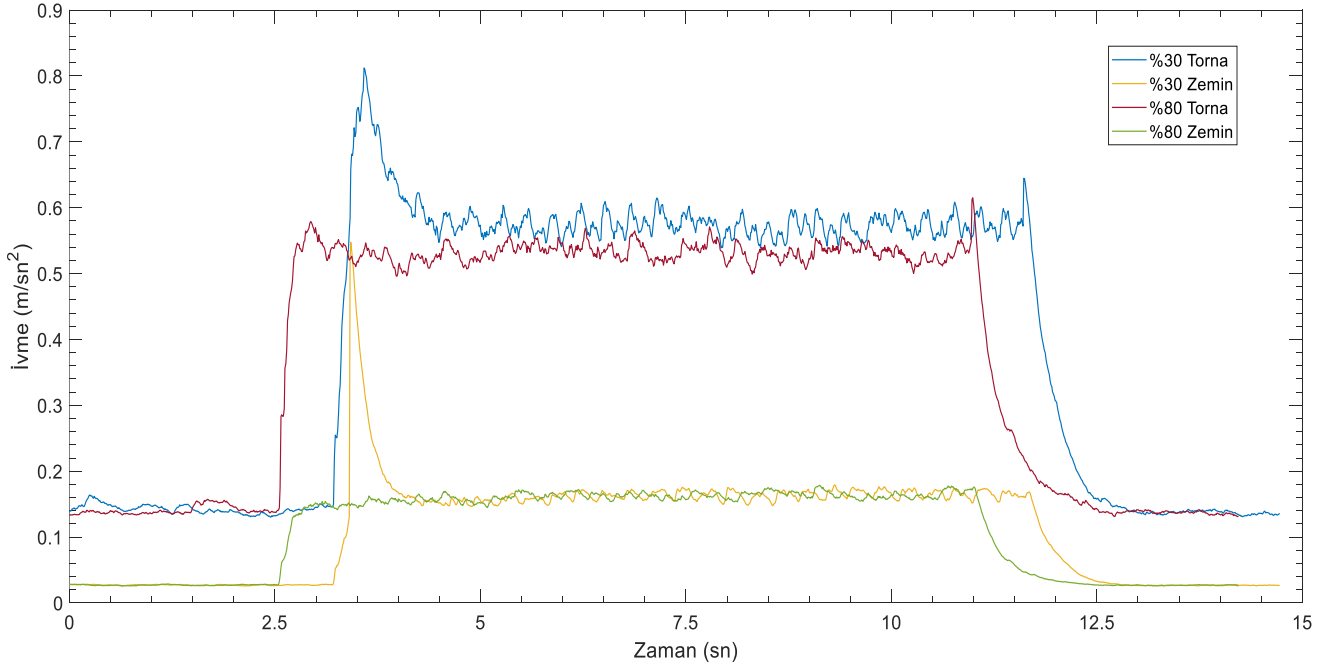


Şekil 3. Deneysel sistem

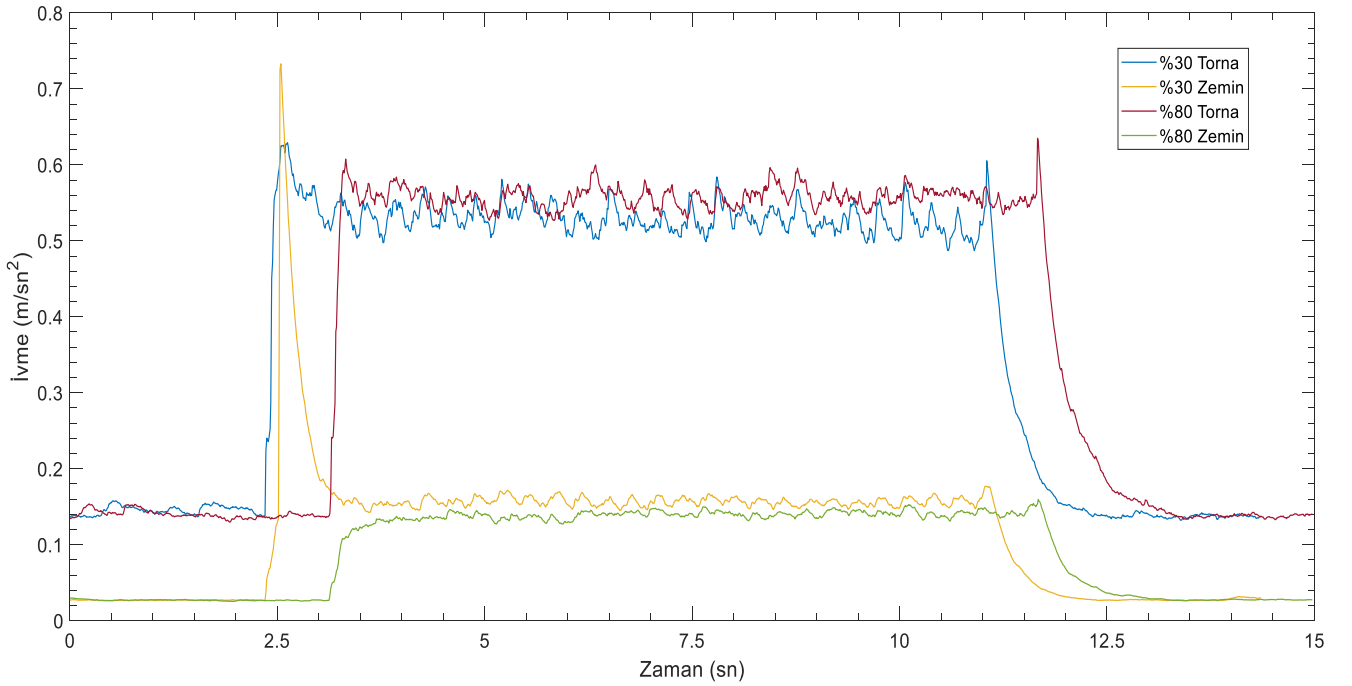
Torna tezgâhı düşey titreşim değerleri, %30 doluluk oranı ile üretilen yapı sönümlenme elemanı olarak kullanıldığında 1,6-1,8 m/sn<sup>2</sup> arasında değişirken, %80 doluluk oranı ile üretilen yapı kullanıldığında ise bu değerler 1-1,2 m/sn<sup>2</sup> aralığında değişim göstermektedir. Zemin titreşim değerlerinde ise anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Şekil 6b' de, zigzag içyapıya sahip ve %30 ile %80 doluluk oranlarında üretilmiş yapıların izolatör olarak

kullanılmasıyla elde edilen titreşim değerleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, torna tezgâhı düşey titreşimleri %30 doluluk oranında 1,2-1,6 m/sn<sup>2</sup> arasında değişim gösterirken, %80 doluluk oranında bu değerler 1-1,2 m/sn<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Zemin üzerindeki titreşim değerlerinde belirgin bir fark bulunmamakla birlikte, tüm yapılarda yaklaşık 0,3 m/sn<sup>2</sup> civarında sabit kalmaktadır.

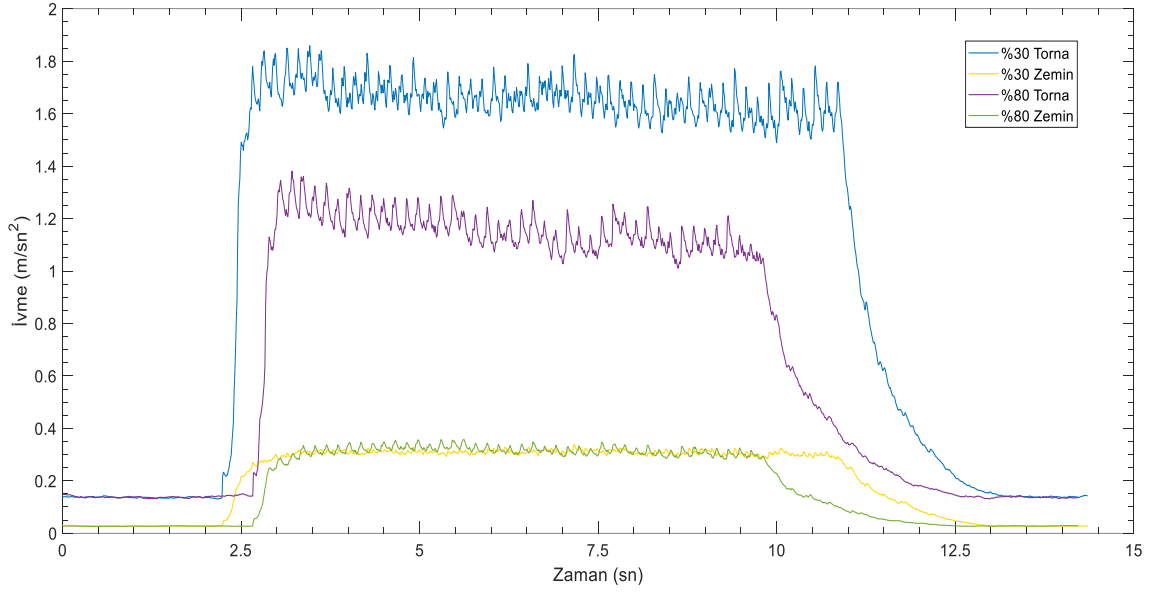


(a)

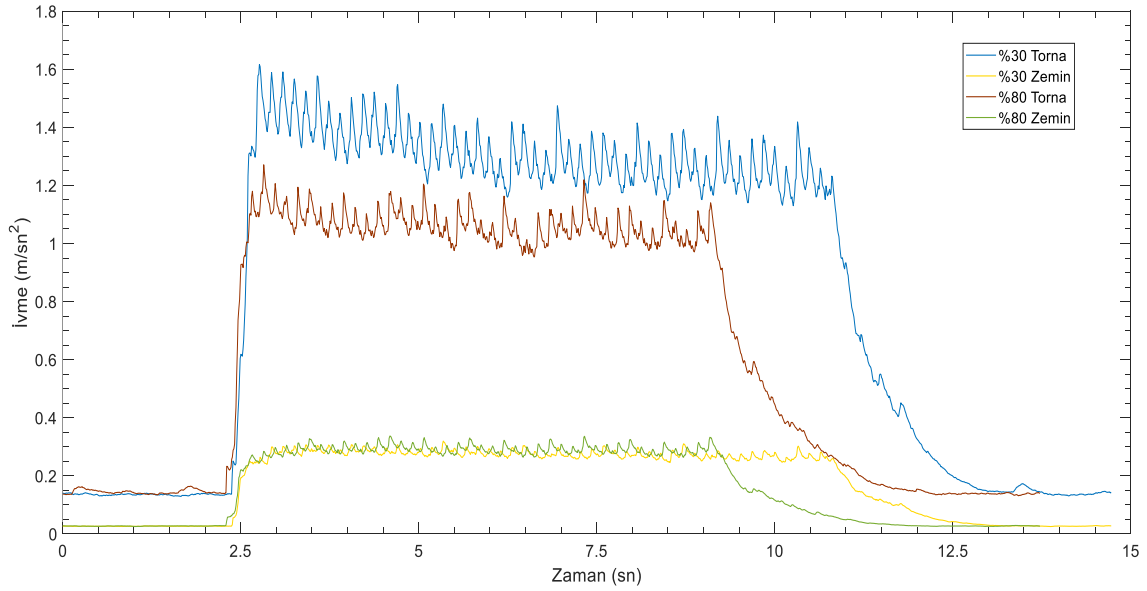


(b)

Şekil 5. 370 d/dk hızında elde edilen titreşim grafikleri (a) üçgen içyapı, (b) zigzag içyapı



(a)



(b)

Şekil 6. 740 d/dk hızında elde edilen titreşim grafikleri (a) üçgen içyapı, (b) zigzag içyapı

## 5 Değerlendirme

Bu çalışmada, son yıllarda kullanımı önemli derecede artan eklemeli imalat metotlarından olan EYM ile üretilmiş yapıların izolatör olarak kullanımında yazdırma parametrelerinin titreşim sönümlenme üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, yapısal yazdırma parametrelerinden doluluk oranı, oluşturulan yapının titreşim sönümlenme performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun yanı sıra, içyapı da bu bağlamda önemli bir değişken olarak değerlendirilmektedir. Daha kapsamlı bir çalışmada, doluluk oranına ek olarak diğer yazdırma parametrelerinin de etkisi daha net bir şekilde ortaya konulabilir. Bu sayede, uygun bir tasarımla,

malzemenin rijitlik ve sönüm özellikleri, seçilen uygun malzeme tipi, fiziksel parametreler ve topoloji ile optimize edilebilir. Bu değişikliklerle titreşim seviyesi azaltılabilir ve kontrol altına alınabilir. Sonuç olarak, uygulamaya özel, titreşimi istenilen seviyelere çekebilecek nitelikte izolatörler tasarlanabilir.

### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

### Benzerlik oranı (iThenticate): %0

### Kaynaklar

- [1] S.C. Joshi and A. A. Sheikh, 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. Virtual and Physical

- Prototyping, 10, 175-185, 2015. <https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1111519>
- [2] A. Aimar, A. Palermo and B. Innocenti, The role of 3D printing in medical applications: A state of the art, *Journal of Healthcare Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>
- [3] H. Gao, W. Zhang, Z. Yu, F. Xin and M. Jiang, Emerging Applications of 3D printing in biomanufacturing, *Trends Biotechnology*, 39(11), P1114-1116, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.04.005>
- [4] ISO/TC 261; Additive manufacturing ISO/ASTM 52900:2021 (En), *Additive Manufacturing—General Principles—Fundamentals and Vocabulary*. ISO: Geneva, Switzerland, 2021.
- [5] V. Shanmugam, O. Das, K. Babu, U. Marimuthu, A. Veerasimman, D. J. Johnson, R. E. Neisiany, M. S. Hedenqvist, S. Ramakrishna and F. Berto, Fatigue behaviour of FDM-3D printed polymers, polymeric composites and architected cellular materials. *International Journal of Fatigue*, 143, 106007, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106007>
- [6] D. Popescu, A. Zapciu, C. Amza, F. Baciu, and R. Marinescu, FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. *Polymer Testing*, 69, 157–166, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.020>
- [7] T. J. Gordelier, P. R. Thies, L. Turner and L. Johanning, Optimising the FDM additive manufacturing process to achieve maximum tensile strength: A state-of-the-art review, *Rapid Prototype Journal*, 25(6), 953–971, 2019. <https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2018-0183>
- [8] F. M. Mwema and E. T. Akinlabi, Basics of Fused Deposition Modelling (FDM). In: *Fused Deposition Modeling, Part of the book series: SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*, Springer, 2020. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48259-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48259-6_1)
- [9] F. Bárník, M. Vaško, M. Sága, M. Handrik and A. Sapietová, Mechanical properties of structures produced by 3D printing from composite materials, *MATEC Web of Conferences*, 254, 01018, 2019.
- [10] P. Wang, B. Zou, S. Ding, L. Li and C. Huang, Effects of FDM-3D printing parameters on mechanical properties and microstructure of CF/PEEK and GF/PEEK, *Chinese Journal of Aeronautics*, 34, 236–246, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.05.040>
- [11] J. C. Camargo, Á.R. Machado, E. C. Almeida, and E. F. M. S. Silva, Mechanical properties of PLA-graphene filament for FDM 3D printing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103, 2423–2443, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03532-5>
- [12] J. Fernandes, A. M. Deus, L. Reis, M. F. Vaz and M. Leite, Study of the influence of 3D printing parameters on the mechanical properties of PLA, In *Proceedings of the International Conference on Progress in Additive Manufacturing*, Singapore, 14–17 May 2018.
- [13] D. Lee and G. Y. Wu, Parameters affecting the mechanical properties of three-dimensional (3D) printed carbon fiber-reinforced polylactide composites, *Polymers*, 12, 2456, 2020. <https://doi.org/10.3390/polym12112456>
- [14] R. Gautam and S. Idapalati, Compressive Properties of Additively Manufactured Functionally Graded Kagome Lattice Structure, *Metals*, 9(5), 517, 2019. <https://doi.org/10.3390/met9050517>
- [15] J. T. Cantrell, S. Rohde, D. Damiani, R. Gurnani, L. DiSandro, J. Anton, A. Young, A. Jerez, D. Steinbach, C. Kroese, and P. G. Ifju, Experimental characterization of the mechanical properties of 3D-printed ABS and polycarbonate parts. *Rapid Prototyping Journal*, 23(4), 811-824, 2017. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2016-0042>
- [16] M. Al Rifaie, A. Lian and R. Srinivasan, Compression behavior of three-dimensional printed polymer lattice structures, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 233, 1574–1584, 2018. <https://doi.org/10.1177/1464420718770475>
- [17] G. J. Calise and A. Saigal, Anisotropy and failure in octahedral lattice structure parts fabricated using the fdm technology. In *Proceedings of the ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Tampa, FL, USA, 3–9 November 2017.
- [18] M. Helou, S. Vongbunyong, and S. Kara, Finite Element Analysis and Validation of Cellular Structures. *Procedia CIRP*, 50, 94–99, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.018>
- [19] J. Bauer, S. Hengsbach, I. Tesari, R. Schwaiger and O. Kraft, High-strength cellular ceramic composites with 3D microarchitecture, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(7), 2453–2458, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315147111>
- [20] J. Fei, B. Lin, S. Yan, M. Ding, J. Xiao, J. Zhang, X. Zhang, C. Ji, and T. Sui, Chatter mitigation using moving damper, *Journal of Sound and Vibration*, 410, 49–63, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2017.08.033>
- [21] G. Stepan, A. K. Kiss, B. Ghalamchi, J. Sopanen and D. Bachrathy, Chatter avoidance in cutting highly flexible workpieces, *CIRP Annals*, 66(1), 377–380, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.054>
- [22] X. L. Yang, H. T. Wu, B. Chen, S. Z. Kang and S. L. Cheng, Dynamic modeling and decoupled control of a flexible Stewart platform for vibration isolation, *Journal of Sound and Vibration*, 439, 398–412, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2018.10.007>

