

ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ  
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING  
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

## KONİK AÇININ VE SINIR KOŞULLARININ 3 BOYUTLU BASKI İLE ÜRETİLEN PET-G KİRİŞLERİN DOĞAL FREKANSLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TAPER ANGLE AND BOUNDARY CONDITION ON NATURAL FREQUENCY OF THE 3D PRINTED PET-G BEAMS

**Yazarlar (Authors):** Berkay Ergene<sup>ID\*</sup>, Gökmen Atlıhan<sup>ID</sup>, Ahmet Murat Pinar<sup>ID</sup>

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Ergene B., Atlıhan G., Pinar A.M., "Konik Açının ve Sınır Koşullarının 3 Boyutlu Baskı ile Üretilen Pet-G Kirişlerin Doğal Frekanslarına Etkisinin Araştırılması" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(1): 31-39, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1034127

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

# KONİK AÇININ VE SINIR KOŞULLARININ 3 BOYUTLU BASKI İLE ÜRETİLEN PET-G KİRİŞLERİN DOĞAL FREKANSLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Berkay Ergene<sup>a</sup> , Gökmen Atlıhan<sup>a</sup> , Ahmet Murat Pinar<sup>a</sup> 

<sup>a</sup>Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

\* Sorumlu Yazar: [bergene@pau.edu.tr](mailto:bergene@pau.edu.tr)

(Geliş/Received: 08.12.2021; Düzeltme/Revised: 12.01.2022; Kabul/Accepted: 25.02.2022)

## ÖZ

Günümüzde, eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan eriyik yığıma modelleme (EYM) metodu, tasarımları, dilimleyici programda oluşturulan g-kodlarına göre katman katman üç boyutlu (3B) ürünlerle dönüştürebilmektedir. Bundan dolayı da EYM, uzay-havacılık alanındaki uygulamalardan, inşaat sektöründe evlerin yapımına ve hobi olarak parça üretimine dek birçok platformda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, EYM metodunu baz alan üç boyutlu yazıcıyla, %100 doluluk oranı ve 0.1 mm katman kalınlığı ile Polietilen tereftalat glikol (PET-G) malzemeden konik açılı ( $\Theta=0$ ,  $\Theta=0.25$  ve  $\Theta=0.50$ ) kirişler imal edilmiştir. Katmanlı üretimin etkilerini görebilmek amacıyla EYM metoduyla üretilen konik açılı kirişlerde, konik açısının ve sınır koşullarının (dar ya da geniş kenar mesnetli), kirişlerin doğal frekans değerlerine olan etkisi hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi programı Ansys APDL ile belirlenmiş ve birbirleri arasında mukayese edilmiştir. Ayrıca, sonlu elemanlar analizi programında malzeme verisi olarak girilmesi gereken elastisite modül değerlerinin deneysel olarak tespit edilebilmesi amacıyla EYM metoduyla, aynı EYM parametreleri ile ASTM D638-14 Tip 4 standardına uygun çekme test numuneleri üretilerek, ilgili numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Bunların yanı sıra, üretilen numunelerden sertlik ve yüzey pürüzlülük ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, EYM ile üretilen konik açılı kirişlerde konik açısının 0.25'ten 0.50'ye artmasıyla birlikte ve sabit mesnetin dar kenara nazaran geniş kenardan uygulanması durumunda doğal frekans değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi sonuçları ile deneysel sonuçlar uyum halindedir.

**Anahtar Kelimeler:** Doğal Frekans, Eriyik Yığıma Modelleme, Sonlu Elemanlar Analizi, PET-G, Konik Açısı.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TAPER ANGLE AND BOUNDARY CONDITION ON NATURAL FREQUENCY OF THE 3D PRINTED PET-G BEAMS

### ABSTRACT

Today, fused deposition modeling (FDM), which is one of the additive manufacturing methods, can transform the designs into three-dimensional (3D) products layer by layer according to generated g-codes in slicing program. For this reason, FDM is frequently preferred in many platforms, from applications in aerospace and aviation to the construction of houses in the construction industry and the production of parts as a hobby. In this study, beams with taper angle ( $\Theta=0$ ,  $\Theta=0.25$  and  $\Theta=0.50$ ) were produced from Polyethylene terephthalate glycol (PET-G) material with 100% infill rate and 0.1 mm layer thickness by a 3D printer based on the FDM method. The influence of the taper angle and boundary conditions (narrow or wide side is fixed) on the natural frequency values of the tapered PET-G beams that are manufactured with FDM in order to observe the effect of additive manufacturing was determined by both experimental and Ansys APDL finite element analysis program and compared between each other. In addition, in order to experimentally determine the elasticity modulus values that should be assigned as material data in the finite element analysis program, tensile test samples were produced with the same FDM parameters, in accordance with the ASTM D638-14 Type 4 standard, and the relevant

samples were subjected to the tensile test. In addition to these, hardness and surface roughness measurements were also carried out from the produced samples. As a result, it has been determined that the natural frequency values increase with the increase of the taper angle from 0.25 to 0.50 in the tapered beams produced by FDM and when the fixing is applied from the wide edge compared to the narrow edge. The finite element analysis results and the experimental results are in good agreement.

**Keywords:** Natural Frequency, Fused Deposition Modelling, Finite Element Analysis, PET-G, Taper Angle.

## 1. GİRİŞ

Üç boyutlu baskı ve hızlı prototipleme olarak da bilinen eklemeli imalat yöntemi, düşüncenin tasarıma, tasarımın da karmaşık geometriye üç boyutlu bir ürüne dönüştürülmesine olanak tanıdığı için diğer konvansiyonel imalat yöntemlerinden ayrılmaktadır [1, 2]. Prototip olarak kullanıldığı gibi, birçok farklı alandaki uygulamalarda da tercih edilen eklemeli imalat yöntemi fotopolimerizasyon, malzeme ekstrüzyon, malzeme püskürtme, toz yataklı ergitme, direkt enerji depolama, katmanlı obje üretimi, lazerle net şekillendirme olarak yedi ana sınıfa ayrılmaktadır [3]. Eklemeli imalat yöntemlerinde kullanılan ergitme ya da kütleme metoduna bağlı olarak toz, tel ve akışkan formda ham maddeler kullanılabilir [4]. Eklemeli imalat yönteminin yedi ana sınıfından malzeme ekstrüzyon yöntemini temsil eden eriyik yığıma modelleme (EYM) metodunda ise çoğunlukla ham madde olarak polimer ya da kompozit filamentler kullanılmaktadır. Bu yöntemde, malzeme çeşidine göre 180 °C ile 240 °C arasında ergitilen filamentler çoğunlukla 0.4 mm çapa sahip ağızlıktan, dilimleyici programda oluşturulan g kodlarına göre bırakılarak üç boyutlu ürünün katman katman oluşturulması sağlanır [5]. EYM metoduyla çalışan üç boyutlu yazıcılar, maliyetlerinin diğer eklemeli imalat cihazlarına göre ucuz olması, kolay ulaşılabilirliği ve ürün devamlılığını sağlayabildiklerinden dolayı otomotiv, tekstil, inşaat ve biyomedikal gibi bir çok farklı alandaki kullanımları her geçen gün artmaktadır [6-8]. Özellikle, tüm dünyada olduğu üzere, ülkemizde de Covid-19 salgınının ortaya çıktığı 2020 yılının Mart ayından bu yana EYM ile siperlik maske üretimi de gerçekleştirilmiştir [9, 10]. EYM ile üretilen polimer ve kompozit yapıların mekanik ve aşınma performanslarının incelendiği birçok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür. Avila vd. [11] EYM ile Polilaktik asit (PLA) malzemeden üretilen yapılarda üretim yönünün,

katman kalınlığının ve doluluk oranının yapıların mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Gohar vd. [12] ise EYM ile hem çekirdek kısmını hem de alt ve üst yüzeylerini imal ettikleri sandviç kompozit yapılarda imalat parametrelerinin sandviç kompozit yapıların mekanik dayanımlarına olan etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Ergene vd. [13] EYM ile Akrilonitril bütadien stiren (ABS) malzemeden ürettikleri farklı hücresel duvar kalınlıklarına sahip hafifletilmiş boruların basma dayanımını ve absorbe ettikleri enerjileri deneysel olarak tespit etmişlerdir.

Başka bir çalışmada Vurat ve Parmaksız da [14] EYM ile üretilen iskele yapılarda moleküler ağırlığın, mekanik performansına etkisini basma testi gerçekleştirerek tayin etmeye çalışmışlardır. Ek olarak, Agarval vd. [15] çalışmalarında, EYM metoduyla üç boyutlu yazıcı kullanarak PET-G malzemeden ürettikleri çekme test numuneleri ile üretim parametrelerinin mekanik özelliklere etkisini ortaya koymuşlardır. Agarval vd. çalışmalarının sonucunda, en iyi çekme dayanımının katman kalınlığının en düşük ve doluluk oranının ise en yüksek olduğu durumda elde edildiğini rapor etmişlerdir. Yanı sıra, Özsoy vd. [16] EYM ile farklı doluluk oranı, katman kalınlığı ve nozzle sıcaklığında ürettikleri ABS ve PLA numuneleri çekme, basma ve üç noktadan eğme testlerine tabi tutarak mekanik performanslarını irdelemişlerdir. Aynı çalışmada, doluluk oranının önemli bir parametre olup, artması durumunda yapının mekanik özelliklerini iyileştirdiği ifade edilmiştir. Diğer taraftan, Pant vd. [17] EYM ile PLA malzemeden farklı EYM parametreleri ile ürettikleri aşınma numunelerini aşınma testine tabi tutarak aşınma performansları üzerine odaklanmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, üretim yönünün aşınma performansını en çok etkileyen parametre olduğu dile getirilmiştir. Polimer malzemelerin aşınma performansı üzerine gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, Karabeyoğlu vd. [18] EYM ile

ürettikleri ABS malzemeyi çok katmanlı Cu-Ni-Cr ile kaplayarak, kaplamalı ürünün farklı kuvvetler altında aşınma özelliklerini tespit etmeye çalışmışlardır. Kaplamalı ABS malzemenin kaplamasız olanlara nazaran daha az aşındığını rapor etmişlerdir. Görüldüğü üzere, EYM ile üretilen parçaların mekanik ve aşınma performanslarının incelendiği çalışmalar bulunsa da, bu parçaların titreşim davranışlarını inceleyen çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür. Halbuki, EYM ile üretilerek özellikle otomotiv, uzay-havacılık ve konstrüksiyon alanında kullanılan polimer ve kompozit parçaların birçok uygulamada titreşime maruz kaldıkları bilinmektedir [19, 20]. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar ele alındığında, Raffic vd. [21] EYM ile farklı doluluk oranı, üretim hızı ve katman kalınlığında üretilen ABS ve PET-G parçaların titreşim davranışlarını incelemiştir. Ayrıca, Yadav vd. [22] EYM ile üretilen numunelerde nozzle sıcaklığının ve baskı hızının, numunelerin doğal frekanslarına olan etkisini incelemiş ve bu iki parametrenin önemli bir etkiye sahip olmadığını vurgulamıştır. Literatürdeki bir diğer çalışmada [23], karbon fiber katkılı ve katkı içermeyen PET-G parçaların doğal frekans değerleri mukayese edilmiş olup, karbon fiber katkılı PET-G parçaların, katkı içermeyen parçalara nazaran % 17 oranında daha fazla doğal frekansa sahip olduğu belirtilmiştir. Yalçın vd. de [24] eklemeli imal edilebilir hücreli yapıların titreşim davranışlarını sonlu elemanlar analizi yöntemi ile ortaya koymuşlardır. Atlıhan vd. [25] nümerik ve deneysel yöntemleri içeren çalışmalarında EYM ile üretilen bal peteği yapıların titreşim davranışlarını araştırmışlardır. EYM ile üretilen hafifletilmiş yapıların incelendiği başka bir çalışmada [26], yapıların doğal frekansları sonlu elemanlar bazlı Ansys APDL programı ile belirlenmiştir. Son olarak Parpala vd. de [27] doluluk ayarlarının üç boyutlu baskı ile üretilen PLA numunelerin doğal frekanslarına etkilerini incelediği çalışmada, doluluk oranının kontur sayısı ve doluluk deseni ile kıyaslandığında, doğal frekans değerlerini etkileyen en önemli parametre olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışma kapsamında, EYM ile PET-G malzemeden üretilen konik açılı kirişlerde, konik açısının ve sınır koşullarının ilgili kirişlerin doğal frekans değerlerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, deneysel bulgular, Ansys APDL programı kullanılarak

gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleriyle de desteklenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Öncelikle bu çalışma kapsamında, plastik malzemelerin çekme testi standardı olan ASTM D638-14 Tip 4'e göre çekme test numuneleri AutoCAD 2020 programında tasarlanmıştır. Tasarlanan çekme test numuneleri AutoCAD programında stl uzantılı olarak kaydedilerek, Ultimaker Cura 4.4.1 dilimleyici programa aktarılmıştır. Dilimleyici programda EYM parametreleri atanan üç boyutlu modellerin g kodları oluşturularak üretime hazır hale getirilmiştir. G kodları üç boyutlu yazıcıya aktarılan modeller Çizelge 1'de malzeme özellikleri verilen PET-G filamentten (Microzey), Çizelge 2'de paylaşılan EYM parametreleri ile üç boyutlu yazıcıda (Creality-Ender 3 Pro) üretilmiştir (Şekil 1a).

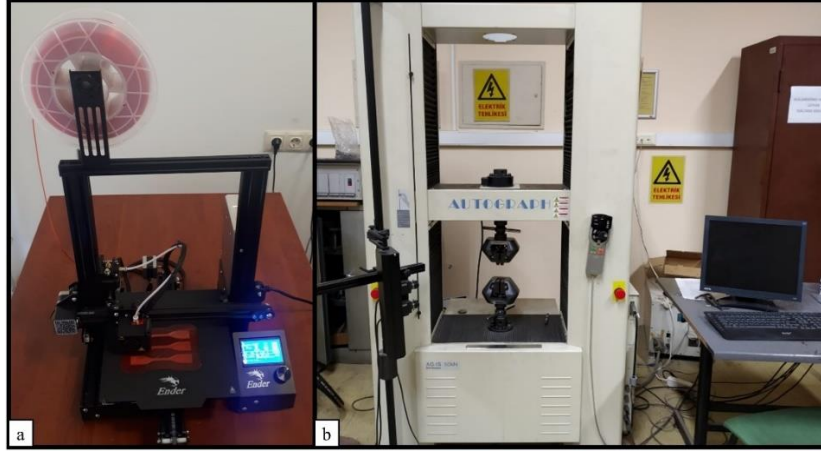
Test sonuçlarında güven aralığını sağlayabilmek amacıyla çekme test numunelerinden üç adet imal edilmiş ve İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesindeki 50 kN kapasiteye sahip çekme test cihazı (Shimadzu AG-IS) ile 5 mm/dakika hızla çekme testine tabi tutularak, kuvvet – deplasman verisi Trapezium 2 yazılımıyla elde edilmiştir (Şekil 1b). Bu veriler kullanılarak gerilme – gerinim eğrisi oluşturulmuş ve teste tabi tutulan numunelerin çekme dayanımı ve elastisite modül değerleri tespit edilmiştir.

**Çizelge 1.** PET-G filamentin malzeme özellikleri.

Özellik	Birim	Değer
Çap	mm	1,75
Yoğunluk	g/cm <sup>3</sup>	1,29
Çekme Dayanımı	MPa	46
Elastisite Modülü	MPa	2100
Önerilen Tabla Sıcaklığı	°C	60-80
Ergime Sıcaklığı	°C	210-250

**Çizelge 2.** Parçaların eklemeli imalatı sırasında kullanılan EYM işlem parametreleri.

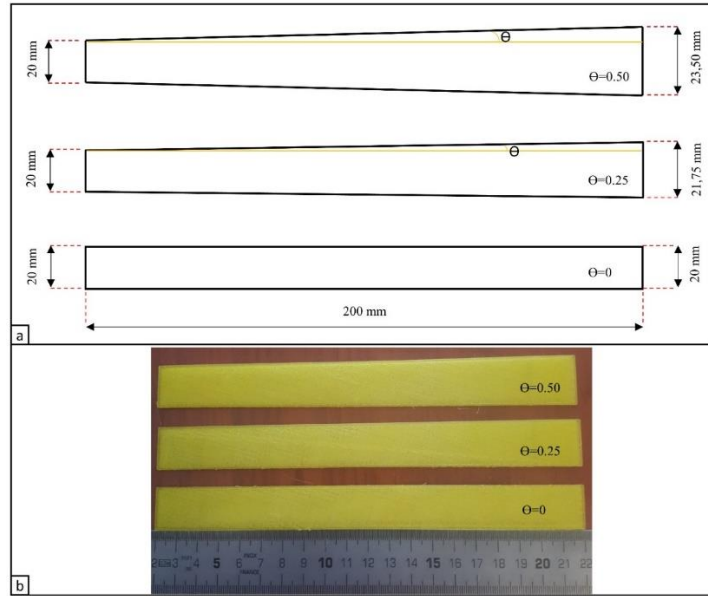
Özellik	Birim	Değer
Katman Kalınlığı	mm	0,1
Doluluk Oranı	%	100
Baskı Hızı	mm/s	50
Nozzle Sıcaklığı	°C	230
İmalat Tabla Sıcaklığı	°C	60
Baskı Açısı	°	45/-45
Fan Hızı	%	100
Kontur Sayısı		2



Şekil 1. (a) Çekme test numunelerinin üç boyutlu yazıcıda üretimi, (b) üretilen numunelerin çekme test

Çekme testlerinin akabinde, malzeme özellikleri belirlenen PET-G malzemeden Şekil 2a'da boyutsal özellikleri gösterilen konik açılı ( $\Theta$ ) kirişler AutoCAD programında tasarlanarak üç boyutlu yazıcı ile aynı EYM parametreleri (Çizelge 2) ile üretilmiştir (Şekil 2b). Üretilen konik açılı kirişlerin ağırlıkları 0,0001 g hassasiyete sahip hassas terazi (Shimadzu TX-423L) ile ölçülmüş ve bu değerler hacim değerlerine bölünerek üretilen kirişlerin yoğunlukları hesaplanmıştır.

Böylelikle, sonlu elemanlar analizi de gerçekleştirilecek olan konik açılı bu kirişlerin, analizler sırasında Ansys APDL programına girilecek olan elastisite modülü ve yoğunluk değerleri de belirlenmiştir. Ayrıca, üretilen numunelerden yapılan sertlik ölçümleri durometre (Zwick) ile Shore D skalasında, yüzey pürüzlülük ölçümleri ise yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı (Hommel Tester T500) ile yapılmıştır.



Şekil 2. (a) Konik açılı kirilerin boyutsal özellikleri, (b) EYM ile üretilmiş konik kirişler.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

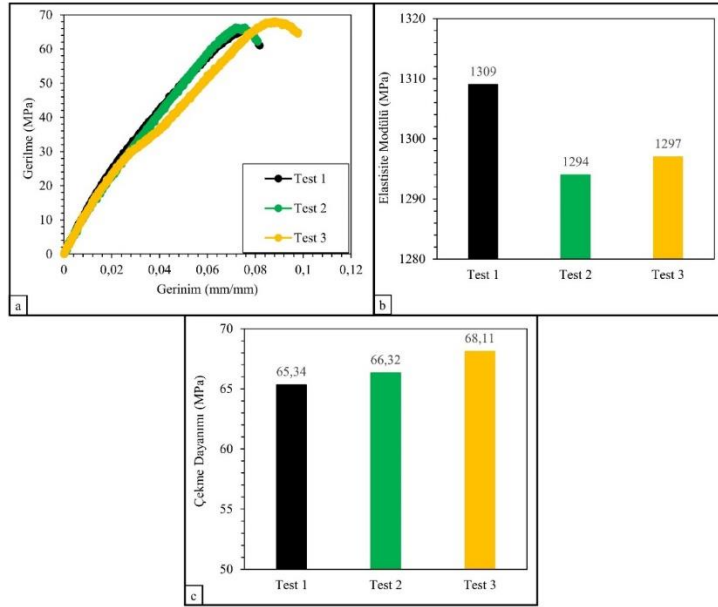
#### 3.1. Çekme Testi, Sertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Bulguları

EYM ile PET-G malzemeden Çizelge 2'deki imalat parametreleriyle üretilen aynı tür numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen gerilim-gerinim eğrisi, elastisite modül değerleri ve çekme dayanım değerleri sırasıyla

Şekil 3a, Şekil 3b ve Şekil 3c'de verilmiştir. Şekil 3a'ya göre, numunelerin kopma uzamasının 0.08 ile 0.1 mm/mm gerinim değerleri arasında olduğu görülmüştür. Şekil 3b incelendiğinde ise, çekme eğrisinde elastik bölgeden hesaplanan elastisite modül değerlerinin ise 1294 ile 1309 MPa aralığında değiştiği belirlenmiştir. Son olarak da Şekil

3c'de paylaşılan çekme dayanım değerleri ise en yüksek 68,11 MPa, en düşük ise 65,34 MPa olarak hesaplanmıştır. Elde edilen çekme dayanım değerleri en fazla % 4 mertebesinde bir değişim göstermiştir. Benzer bulgular literatürde deneysel olarak gerçekleştirilen diğer çalışmalarda da görülmüştür. Örneğin, Dolzyk ve Jung [28] çalışmalarında üç boyutlu yazıcı ile PET-G malzemeden 0,2 katman kalınlığı ve %100 doluluk oranı ile ürettiği numunelerin çekme test sonuçlarına göre çekme dayanımlarının 41.58 ile 48.04 MPa, elastisite

modül değerlerinin 1481 ile 1623 MPa ve son olarak da kopma gerinim değerlerinin ise 0.06 ile 0.07 mm/mm aralığında değiştiği rapor edilmiştir. Bir diğer çalışmada, Durgashyam vd [29] ise, katman kalınlığı ve doluluk oranının PET-G malzemelerin çekme dayanım değerlerini önemli düzeyde etkilediğini yaptıkları çalışma ile göstermişlerdir. EYM ile PET-G malzemeden üretilen numunelerin ortalama sertlik değeri 66 Shore D ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 8,2  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.



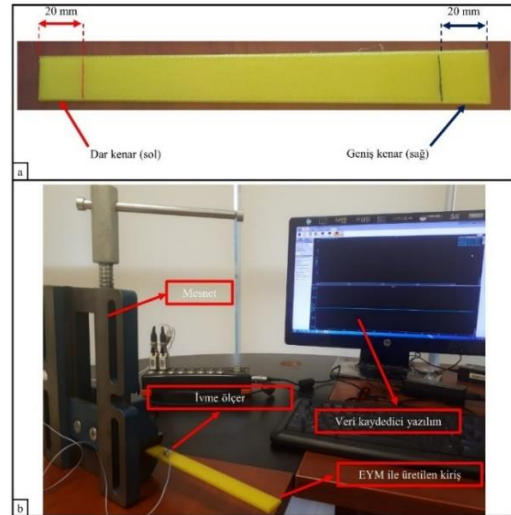
Şekil 3. (a) Gerilme-gerinim eğrisi, (b) elastisite modülü, (c) çekme dayanımı.

### 3.2. Deneysel ve Sonlu Eleman Analiz Bulguları

EYM ile PET-G malzemeden üretilen konik açılı kirişlerin öncelikle Şekil 4a'da gösterildiği üzere sol kenarı (dar kenar) kırmızı renk çizgi ile sağ kenarı (geniş kenar) ise lacivert renk çizgi ile işaretlenmiştir (Şekil 4a). Doğal frekans değerlerinin tespiti amacıyla yapılan deneysel titreşim testleri sırasında sırasıyla numunelerin dar kenarından ve geniş kenarından merkeze doğru 20 mm boyunca mesnetlenerek üzerine ivme ölçer (PCB35C22) yerleştirilmiştir. Kirişlerin doğal frekans değerleri veri toplama cihazına (DEWE 43A), oradan da yazılım programına (DEWESoft X) aktarılarak kaydedilmiştir (Şekil 4b).

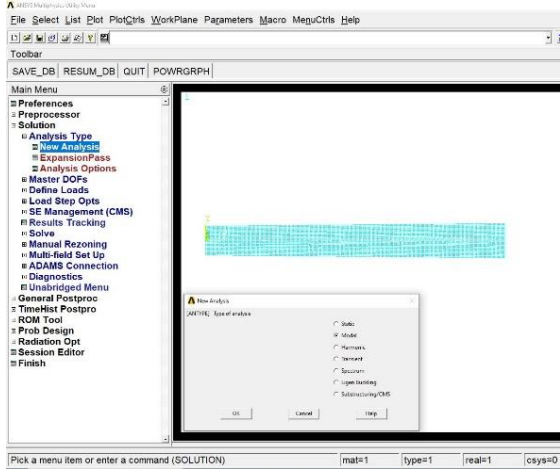
Konik açılı kirişlerin doğal frekans değerleri deneysel yöntemin yanı sıra sonlu elemanlar analizi ile de belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi, Ansys APDL programında gerçekleştirilmiş olup (Şekil 5), element tipi

olarak her bir düğüm noktasında x, y ve z yönlerinde öteleme ve dönme yapabilen, altı serbestlik derecesine sahip Shell 181 kullanılmıştır [30].



Şekil 4. (a) Mesnetleme alanlarının konik açılı kiriş üzerinde gösterimi, (b) kirişlerin doğal frekanslarını hesaplamak amacıyla kurulan deneysel tertibat.



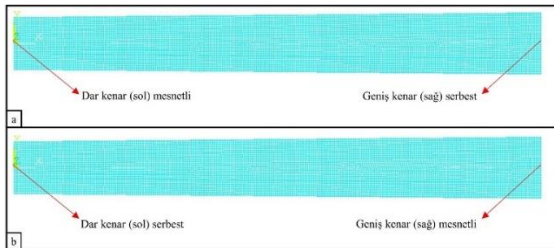


Şekil 5. Ansys APDL programının ara yüzü ve analiz gerçekleştirilmesi.

Ayrıca, ağ örgülü yapının element boyutu homojen bir ağ örgüsü oluşturabilmek amacıyla 0.8 mm olarak seçilmiştir (Şekil 6). Malzeme özellikleri olarak ise üç boyutlu yazıcı ile üretilen çekme test numunelerinin çekme testi sonuçlarından elde edilen ortalama elastisite modülü değeri ve numunelerin hesaplanan ortalama yoğunluk değeri tayin edilmiş olup, bu değerler Çizelge 3’te sunulmuştur. Sınır koşulu olarak ise her bir giriş sırasıyla sol ve sağ kenarındaki düğüm noktalarından gerçek deney koşullarını yansıtacak şekilde ankastre mesnetlenmiş, mesnetlenmeyen uç ise serbest uç olarak tayin edilmiştir. Bu parametre Şekil 6a ve Şekil 6b’de sırasıyla gösterilmiştir.

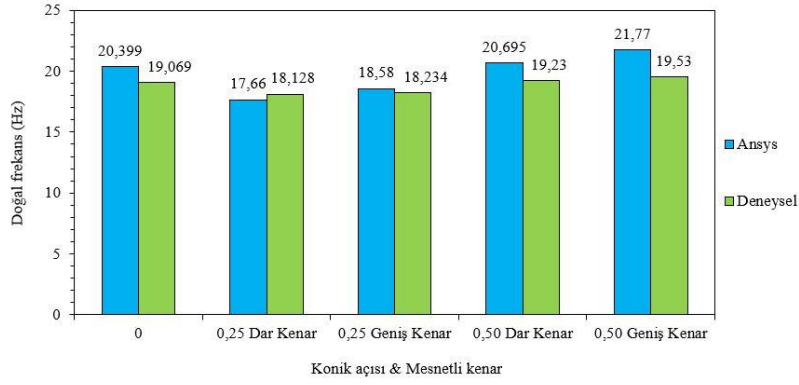
Çizelge 3. Üç boyutlu basılan PET-G parçalardan deneysel olarak elde edilen malzeme özelliklerinin ortalama değerleri

Özellik	Birim	Değer
Katman Kalınlığı – Doluluk Oranı	mm-%	0,1-100
Elastisite Modülü	MPa	1300
Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	1038



Şekil 6. (a) 1. Durum: Sol kenar mesnetli, sağ kenar serbest uç, (b) 2. Durum: Sağ kenar mesnetli, sol kenar serbest uç.

Ayrıca, sonlu elemanlar analizi sırasında modal analiz tipinin alt bir seçeneği olan 5 moda indirgenmiş Block Lanczos uygulanmıştır. Sonuç olarak, EYM ile PET-G malzemeden üretilen konik açılı kirişlerin sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilerek kirişlerin konik açılarının ve sınır koşullarının bu kirişlerin doğal frekanslarını nasıl etkilediği tespit edilmiştir. Şekil 7’de de kirişlerde konik açısının ve sınır koşullarının konik açılı kirişlerin doğal frekansına etkileri hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi sonuçları ile mukayeseli bir şekilde sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, konik açının 0 olduğu durumda, girişin doğal frekans değeri 19.069 Hz olarak ölçülürken, sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre ise bu değer deneysel analiz sonucuna kıyasla % 6.9 mertebesinde daha fazla (20.399 Hz) olarak bulunmuştur. Konik açısının 0.25 olduğu durum ele alındığında, girişin dar kenarı mesnetli iken deneysel ve sonlu elemanlar analizi sonuçları sırasıyla 18.128 ve 17.66 Hz olarak ölçülmüştür. Konik açısı 0.25 iken geniş kenar mesnetlendiğinde ise, deneysel analiz sonucunun % 0.6 oranında artış göstererek 18.128 Hz’den 18.234 Hz’ye çıktığı, sonlu elemanlar analizi sonucunun da % 5.2 artarak 17.66 Hz’den 18.58 Hz’ye ulaştığı görülmüştür. Şekil 7’den görülebileceği üzere geniş kenar mesnetli dar kenar serbest uç olarak sınır koşulları atandığında, hem deneysel sonuçların hem de Ansys programı ile elde edilen nümerik sonuçların arttığı rapor edilebilir. Benzer durum, konik açısı 0.5 olduğunda da görülmüştür. İlave olarak bir diğer önemli çıkarım ise, konik açısının 0.25’ten 0.5’ yükselmesiyle birlikte hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi sonuçları artış eğilimindedir. İlgili çalışmaya paralel sonuç bir diğer çalışmada da gözlemlenmiştir [20]. Maksimum doğal frekans değeri 21.77 Hz ile konik açısının 0.5, geniş (sağ) kenarın mesnetli, dar kenarın (sol) serbest olarak ele alındığı koşulda sağlanmışken, minimum doğal frekans değeri ise giriş açısı 0.25 ve dar kenarın mesnetli, geniş kenarın serbest olduğu durumda kayda geçmiştir. Hem deneysel hem de sonlu elemanlar analizi sonuçları irdelendiğinde, elde edilen sonuçların büyük oranda uyum halinde olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Konik açısı ve sınır koşuluna göre konik açılı kirişlerde doğal frekans değerlerinin değişimi

#### 4. SONUÇLAR

Eriyik yığıma modelleme metoduyla PET-G malzemeden üretilen kirişlerde, konik açının ve sınır koşullarının, kirişlerin doğal frekanslarına etkilerinin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile araştırıldığı bu çalışmadan aşağıda verilen önemli sonuçlar elde edilmiştir.

- Malzeme verisi sonlu elemanlar analizinde kullanılmak üzere EYM ile PET-G malzemeden üretilen çekme test numunelerinin çekme test sonuçlarına göre çekme dayanım değerlerinin 65,34 MPa ile 68,11 MPa aralığında değiştiği görülmüştür.
- Benzer şekilde, PET-G malzemenin elastisite modül değerleri ise minimum 1294 MPa, maksimum ise 1309 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Üretilen numunelerin ortalama sertlik değeri 66 Shore D, ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ise 8,2  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür.
- Sonlu elemanlar analizi ile deneysel olarak elde edilen sonuçların iyi bir uyum halinde olduğu belirlenmiştir.
- Konik açısının 0,25'ten 0,50'ye değişmesi durumunda EYM ile üretilen kirişlerin doğal frekans değerleri % 6 ile % 17 aralığında artış göstermiştir.
- Konik açılı kirişlerin geniş kenarından sabitlenmesi durumunda, dar kenarından sabitlenmesine kıyasla daha yüksek doğal frekans değerleri sergilediği ifade edilebilir.

#### KAYNAKLAR

1. Liu, Z., Zhao, D., Wang, P., Yan, M., Yang, C., Chen, Z., Lu, J., Lu, Z., "Additive manufacturing of metals: Microstructure evolution and multistage control", Journal of Materials Science & Technology, Vol. 100, Pages 224-236, 2022.
2. Attaran, M., "The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing", Business Horizons, Vol. 60, Issue 5, Pages 677-688, 2017.
3. Bhatia, A., Sehgal, A.K., "Additive manufacturing materials, methods and applications: A review", Materialstoday:Proceedings, In Press, 2021.
4. Ngo, T.D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., Hui, D., "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges", Composites Part B: Engineering, Vol. 143, Pages 172-196, 2018.
5. Mohamed, O.A., Masood, S.H., Bhowmik, J.L., "Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects", Advances in Manufacturing, Vol. 3, Pages 42-53, 2015.
6. Puad, N.A.S.M., Haq, R.H.A., Noh, H.M., Abdullah, H.Z., Idris, M.I., Lee, T.C., "Review on the fabrication of fused deposition modelling (FDM) composite filament for biomedical applications", Materialstoday:Proceedings, Vol. 29, Issue 1, Pages 228-232, 2020.
7. Sargini, M.I.M., Masood, S.H., Palanisamy, S., Jayamani, E., Kapoor, A., "Additive manufacturing of an automotive brake pedal by metal fused deposition modelling", Materialstoday:Proceedings, Vol. 45, Issue 6, 4601-4605, 2021.
8. Terekhina, S., Egorov, S., Tarasova, T., Skorniyakov, I., Guillaumat, L., Hattali, M.L., "In-nozzle impregnation of continuous textile flax fiber/polyamide 6 composite during FFF process",



Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, In Press, 106725, 2021.

9. Oladapo, B.I., Ismail, S.O., Afolalu, T.D., Olawade, D.B., Zahedi, M., “Review on 3D printing: fight against COVID-19”, *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 258, 123943, 2021.

10. Yuran, A.F., Asaroğlu, H., Çakmak, S., “Salgın döneminde 3B yazıcılar ile yüz koruyucu üretimi üzerine değerlendirmeler”, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri*, Cilt 4, Sayı 3, 204-215, 2020.

11. Cerda-Avila, S.N., Medellin-Castillo, H.I., Lim, T., “An experimental methodology to analyse the structural behaviour of FDM parts with variable process parameters”, *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 26, Issue 9, 1615-1625, 2020.

12. Gohar, S., Hussain, G., Ali, A., Ahmad, H., “Mechanical performance of honeycomb sandwich structures built by FDM printing technique”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, Pages 1-19, 2021.

13. Ergene, B., Şekeroğlu, İ., Bolat, Ç., Yalçın, B., “An experimental investigation on mechanical performances of 3D printed lightweight ABS pipes with different cellular wall thickness”, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, Vol. 15, Issue 2, Pages 8169-8177, 2021.

14. Vurat, M., Parmaksız, M., “Mechanical Evaluation of 3D Printed Polycaprolactone Scaffolds: Effect of Molecular Weight”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, Vol. 5, Issue 2, Pages 251-258, 2021.

15. Agarwal, P.P., Dadmode, T.S., Kadav, M.R., Ogale, A.P., Mangave, P.P., “Experimental Analysis of Mechanical properties of PETG Material 3D Printed Material by Using Fused Deposition Modelling Technique”, *Mechanical and Mechanics Engineering*, Vol. 6, Issue 1, Pages 20-27, 2020.

16. Özsoy, K., Erçetin, A., Çevik, Z.A., “Comparison of Mechanical Properties of PLA and ABS Based Structures Produced by Fused Deposition Modelling Additive Manufacturing”, *European Journal of Science and Technology*, Vol. 27, Pages 802-809, 2021.

17. Pant, M., Singari, R.M., Arora, P.K., Moona, G., Kumar, H., “Wear assessment of 3-D printed parts of PLA (polylactic acid) using Taguchi design and Artificial Neural Network (ANN) technique”, *Materials Research Express*, Vol. 7, Issue 11, Pages 1-15, 2020.

18. Karabeyoğlu, S.S., Ergene, B., Bolat, Ç., “An Experimental Study on Wear Performance of Electrolytic Multilayer Cu-Ni-Cr Coated ABS Under Different Test Forces”, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, Vol. 8, Issue 2, Pages 666-674, 2021.

19. Hodonou, C., Balazinski, M., Brochu, M. and Mascle, C., “Material-design-process selection methodology for aircraft structural components: application to additive vs. subtractive manufacturing processes”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 103, Issue 1/4, Pages 1509-1517, 2019.

20. Atlıhan, G., Ergene, B., “Vibration analysis of layered composite beam with variable section in terms of delamination and orientation angle in analytical and numerical methods”, *Acta Physica Polonica A*, Vol. 134, Issue 1, Pages 13-17, 2018.

21. Raffic, N.M., Babu, K.G., Kannan, M.M., Mani, G.A., Krishnan, R.N., “Effect of FDM process parameters on vibration properties of PET-G and ABS plastics”, *International Journal on Mechanical and Production Engineering*, Vol. 3, Issue 1, Pages 28-38, 2017.

22. Yadav, P.K., Abhishek, Singh, K., Bhaskar, J., “Effect of infill percentage on vibration characteristic of 3D Printed structure”, In: Singari R.M., Mathiyazhagan K., Kumar H. (eds) *Advances in Manufacturing and Industrial Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, 2021.

23. Kannan, S., Ramamoorthy, M., Sudhagar, E. and Gunji, B., “Mechanical characterization and vibrational analysis of 3D printed PETG and PETG reinforced with short carbon fiber”, *AIP Conference Proceedings*, Vol. 2270, Pages 030004, 2020.

24. Yalçın, B., Ergene, B., Karakılıç, U., “Modal and stress analysis of cellular structures produced with additive manufacturing by finite element analysis (FEA)”, *Academic Perspective Procedia*, Vol. 1, Issue 1, Pages 263-272, 2018.

25. Atlıhan, G., Ovalı, İ., Eren, A., “Eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş balpetekli yapıların titreşim davranışlarının nümerik ve deneysel olarak incelenmesi”, *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri*, Cilt 5, Sayı 2, Sayfa 98-108, 2021.

26. Ergene, B., Yalçın, B., “A finite element study on modal analysis of lightweight pipes”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, Vol. 39, Issue 3, Pages 268-278, 2021.

27. Parpala, R.C., Popescu, D., Pupaza, C., “Infill parameters influence over the natural frequencies of ABS specimens obtained by extrusion-based 3D printing”, Rapid Prototyping Journal, Vol. 27, Issue 6, Pages 1273-1285, 2021.

28. Dolzyk, G., Jung, S., “Tensile and Fatigue Analysis of 3D-Printed Polyethylene Terephthalate Glycol”, Journal of Failure Analysis and Prevention, Vol. 19, Pages 511-518, 2019.

29. Durgashyam, K., Reddy, M.I., Balakrishna, A., Satyanarayana, K., “Experimental investigation on mechanical properties of PETG material processed by fused deposition modeling method”, Materialstoday:Proceedings, Vol. 18, Issue 6, Pages 2052-2059, 2019.

30. Budapest University of Technology and Economics, “Shell 181 Element Description”, [https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans\\_help\\_v182/ans\\_elem/Hlp\\_E\\_SHELL181.html](https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_SHELL181.html), December 1, 2021.