



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>

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ BAL PETEKLİ YAPILARIN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ NÜMERİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION
OF VIBRATION BEHAVIOR OF HONEYCOMB
STRUCTURES PRODUCED BY ADDITIVE
MANUFACTURING METHOD

Yazarlar (Authors): Gökmen Atlıhan*^{ID}, İsmail Ovalı^{ID}, Abdullah Eren^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Atlıhan G., Ovalı İ., Eren A. “ Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilmiş Bal Petekli Yapıların Titreşim Davranışlarının Nümerik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi ” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(2): 98-108, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.907282

Araştırma Makale/ Research Article

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

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ BAL PETEKLİ YAPILARIN TİTREŞİM DAVRANIŞLARININ NÜMERİK VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Gökmen Atlıhan^a, İsmail Ovalı^a, Abdullah Eren^a

^a Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: gatlihan@pau.edu.tr

(Geliş/Received: 01.04.2021; Düzeltme/Revised: 08.06.2021; Kabul/Accepted: 28.06.2021)

ÖZ

Bu çalışmada, otomotiv sanayisinde kullanılabilir PLA (Poli-Laktik Asit) malzemesinin yapısı hücresel hibrit malzeme olan bal petekli yapılardan üretilmiş kirişlerin doğal frekans değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada dörtgen, beşgen, altıgen ve yuvarlak gibi farklı çekirdek yapısındaki petekler ile bunların kombinasyonu olan altıgen-dörtgen(kare)-daire ve beşgen-altıgen-daire gibi çeşitli bal petekli kirişlerin tasarımı ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen kirişin nümerik (Ansys) ve deneysel titreşim analizleri yapılarak doğal frekans değerleri karşılaştırılması yapılarak titreşim mod değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Oluşturulan ankastre mesnetli kirişlerde, bal peteği yapılarının şekillerine göre aynı hacim ve yapıda olanların doğal frekans değerlerinin değiştirilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, PLA, Hibrit Malzeme, Deneysel Analiz, Sonlu Elemanlar Metodu (FEA)

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VIBRATION BEHAVIOR OF HONEYCOMB STRUCTURES PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING METHOD

ABSTRACT

In this study, the natural frequency values of the beams produced from honeycomb structures, which are cellular hybrid material, of PLA (Poly-Lactic Acid) material that can be used in the automotive industry were investigated. In the study, the design and production of honeycomb beams such as hexagon-quadrilateral (square) -circle and pentagon-hexagon-circle, which are combinations of different core structures such as quadrilateral, pentagon, hexagonal and round, have been carried out. It has been shown that the vibration mode values are close to each other by making numerical (Ansys) and experimental analysis of the produced beam and comparing the resulting natural frequency values. It has been shown that in the built-in supported beams formed, the natural frequency values of the ones with the same volume and structure can be changed according to the shapes of the honeycomb structures.

Keywords: Automotive, PLA, Hybrid Material, Experimental Analysis, Finite Element Method (FEA)

1. GİRİŞ

21. yüzyıl da teknolojik gelişmelerin hızla artmasıyla birlikte, kara, deniz, hava ve uzay araçları gibi günümüz taşıt vasıtalarında, savunma sanayisinde, çeşitli endüstri kollarında ve gündelik hayatın içine girmiş farklı ürünlerin imalatında, mukavemeti yüksek fakat aynı zamanda ağırlığı hafif ürünler tasarlamak, üretmek ve kullanmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Malzemelerin birçoğunu katı olarak kullanması ekonomiklik ve ağırlık açısından avantaj sağlamadığı anlaşıldığından, farklı kombinasyonlar ve şekiller ile sandviç ürün haline getirilmiş malzemelerin kullanılmasına başlamıştır.

Bal peteği hücresel yapıları, bal arılarının doğal olarak yaptıkları bal petekleri ile benzerlik gösterdiği için honeycomb yani bal peteği yapısı olarak adlandırılmaktadır. Bal petekli yapılar genellikle alt ve üst katman plakalarının ortasına çekirdek yapının çoğunlukla bir yapıştırıcı yardımı ile birleştirilmesi sayesinde oluşturulmaktadır. Bal petekli yapılar, ilk olarak yaklaşık 1940 yıllarında havacılık sektöründe, uçakların gövde panellerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Sandviç yapı malzemelerin, çeşitli uygulamalar için alt ve üst yüzey tabakaları ile çekirdeğinin farklı malzeme ve geometrik yapılardan seçilerek en uygun tasarımların elde edilebilmesi, en büyük avantajları arasında gösterilmektedir [1]. Ahmad vd. [2], zay araçlarının temel yapısını oluşturan bal peteği yapısındaki sandviç laminatların sönümlenme özelliklerini inceleyip, geliştirme önerileri sunmuşlardır. Ahsanfar ve Galehdari [3], yaptıkları çalışmalarında bal petek yapısındaki malzemelerin ani gelebilecek darbelere karşı oluşacak enerjiyi dağıtmasını ve absorbe etmesini incelemiştir. Yaptıkları araştırma sonucunda sandviç yapıların darbe enerjilerinin yönlenme dereceleri ile optimize edilebileceğini belirlemiştir. Cuvier vd. [4], yaptıklarında çalışmalarında PLA bazlı bileşimlere mekanik özelliklerini araştırarak otomotiv sektöründe kullanılabilirliğine bakmışlardır. PLA'nın yüksek mukavemet, sertlik ve iyi işlenebilirlik açısından otomotiv sektöründe kullanılabilir mekanik özelliklere sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Debruyne vd. [5], termoplastik bal peteği sandviç kirişleri deneysel olarak belirledikleri rezonans frekanslarının ve belirli sayıda test kirişinin mod şekillerinin analizini serbest sınır koşulları altında karakterize etmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda deneysel çalışmalar ile serbest sınır koşullarında elde edilen sonuçların tutarlı olduğunu belirlemiştir. Diğer belirledikleri önemli bir bulguda numunelerin rezonans frekanslarının belirlenmesindeki sapmaların numunelerin üretimindeki impute ve boşluk gibi üretim hatalarından kaynaklandığını belirlenmiştir. Degiovanni vd. [6], sandviç yapı parçaların statik analizi için Hermitian Zik-Zag Teorisini ile taban laminat kavramına dayanan sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları sonlu eleman analizleri sonucunda elde ettikleri sonuçların serbest sınır vb diğer FEA metotları ile uyumlu olduğunu belirlemiştir. Eloy vd. [7], karbon/epoksi kompozit yapı sandviç paneller ile esnek yapı bal peteği sandviçlerinin imalatını ve tasarımı yapıp incelemiştir. Elde ettikleri deneysel sonuçlarda esnek yapı sandviç yapıların üretilebileceğini belirlemiştir. Heimbs vd. [8], yaptıkları çalışmalarında bal petekli sandviç kirişlerde bulunan zigzag formundaki çekirdekli yapıların, çekme, açılı çekme, basma ve darbelere karşı gösterdikleri mukavemet değerlerini, deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile araştırmışlardır. Yaptıkları araştırma sonucunda sandviç plakaların mekanik özelliklerinin FEA yöntemi ile optimize edilebileceğini belirlemiştir. Hosseini vd. [9], petekli hücresel yapılarda hasar tespiti için ultrasonik güdümlü dalgalar kullanarak deneysel araştırma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarını, sonlu elemanlar yöntemi kullanarak sayısal yaklaşımlarla desteklemiştir. Jiang vd. [10], epoksi ve silikon kauçuktan ürettikleri tek boyutlu periyodik plakanın iki tarafına homojen alüminyum plakalar yapıştırarak periyodik bir sandviç plaka tasarlamışlardır. Hosseini vd. ve Jiang vd yaptığı çalışmalar oluşturdukları sandviç plaka plakalar ile daha geniş aralıkta bir doğal frekans aralığı elde edilebileceğini göstermiştir.

Deneysel araştırmalara ek olarak analitik araştırmalar yapıp karşılaştırma yapmışlardır. Khakalo vd. [11], yaptıkları çalışmalarında modelledikleri iki boyutlu üçgen tip kafes yapı petek sistemlerin, bükülme titreşim özelliklerini, basitleştirilmiş bir gerinim gradyanı elastikiyet süreklilik teorisinin yardımıyla belirlemiştir. Trelease [12], bal peteği sandviç yapılarını, katmanlı plaka gibi modelleyerek sonlu elemanlar analizlerini incelemiştir. Bal peteği sandviç yapılarının mekanik özelliklerini daha da geliştirmek adına içini poliüretan köpük doldurmuştur. Sahu vd. [13], plastik naylon filamandan tasarladıkları bal peteği yapısındaki parçalarının, ağırlık yönlerini de dikkate olarak darbelere karşı dirençlerine ve enerji sönümlenme özelliklerini incelemiştir. Yaptıkları deneysel sonuçları ANSYS ortamında da yaparak benzerlikleri ortaya koymuşlardır. Wang vd. [14], kompozit yapıdaki petek sandviç panellerin titreşim özelliklerini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel sonuçlar ile sonlu elemanlar metodu ortamında yapılan analizlerin yakın olduğunu göstermişlerdir. Zhang vd. [15], çalışmalarında sandviç kirişlerde hibrit bal peteği oluklarının titreşim performanslarını incelemiştir. Titreşim özelliklerini araştırmak için sonlu elemanlar yöntemleri ve modal analiz teknikleri kullanmışlardır. Zhang vd. [16], mikro delikli sandviç kirişlerin bal peteği yapılarının modal performanslarını incelemiştir. Titreşim özelliklerini bulmak için sonlu elemanlar modeli ve modal

analiz tekniklerini kullanmışlardır. Korkmaz ve Belev vd eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş yapıların mekanik özelliklerini FEA yöntemi ile incelemiş ve FEA sonuçlarının deneysel sonuçlar ile yüksek oranda tutarlılık gösterdiklerini belirlemişlerdir [17-18]. Özsoy vd görüntü işleme ile kontrol edilen konveyör sistem ile sürekli çalışan otonom çalışan bir sistem geliştirmiştir [19]. Geliştirdikleri sistem ile 3 boyutlu yazıcıların fonksiyonelliğinin ve üretim kapasitesinin arttırılabileceği belirlenmişlerdir. Aksoy vd yapay zekâ destekli 3 boyutlu yazıcıların medikal uygulamalarda kullanımı üzerine bir araştırma gerçekleştirmişler [20] ve yaptıkları çalışmalar sonucunda yapay zekâ uygulamalarının ürün kalitesi ve üretim sürecini önemli derecede iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, 3 boyutlu yazıcılar ile hücreli yapı katmanlardan oluşan (dörtgen-beşgen-altıgen-yuvarlak vb.) bal petekli yapılar üretilmiştir. Oluşturulan bu hücreli yapıların deney numunelerin doğal frekansları üzerindeki etkisi nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir.

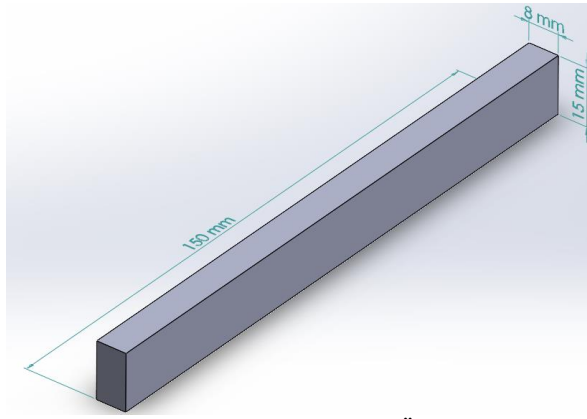
2. MATERYAL VE METOT

2.1 Deneysel Numunelerin Üretimi

Kiriş haline getirilmiş sandviç yapıların temel özelliği; iki adet ince ve rijit alt ve üst yüzey tabaka arasına kalın fakat oldukça hafif çekirdek malzemesinin konulması ile elde edilmektedir. Çalışmada 150*15*8 mm ebatlarında kirişler üretilmiştir (Şekil 1). Üretilen ilk kiriş içi dolu olarak üretilmiştir ve diğer kirişler bu dolu kirişin ebatları ile aynı olacak şekilde, içerisinde dörtgen-beşgen-altıgen ve daire olmak üzere 4 farklı desende hacim çıkartılması yapılarak üretilmiş ve böylece kirişlere bal peteği yapısı verilmiştir. Çıkartılan hacimler her bir satırda 3 adet olarak toplam 4 adet tasarım yapılmıştır. Çıkartılan hacimlerin her biri eş merkezlidir ve her bir kiriş için 4320 mm³'dür. Çizelge 1'de üretilen kirişin geometrik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1. Üretilen kirişin geometrik özellikleri

B(mm)	L (Kiriş Uzunluğu-mm)	h (Et Kalınlığı-mm)
15	150	8

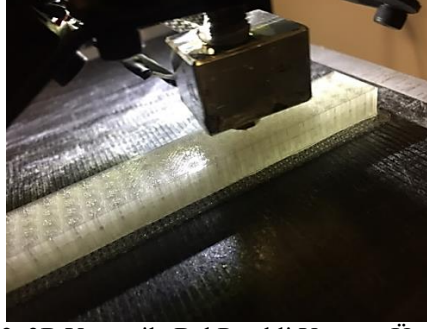


Şekil 1. Deney Numunesi Ölçüleri

Deney numunelerin üretiminde ve Sonlu eleman analizlerinde kullanılacak olan deney numunesinin katı modellemesi SolidWorks programında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'de çalışmada kullanılan bal petekli yapıli kirişlerin 3 boyutlu İmalat (Eklemeli İmalat) yöntemi ile üretim aşaması gösterilmektedir. Kirişlerde hammadde olarak PLA plastik malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan PLA'nın mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Üretilen kirişler tek bir malzemeden bir bütün olarak eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş ve çekirdek yapı ile alt ve üst yüzey plakalar arasında bir yapıştırıcı kullanılmasına gerek kalmamıştır. 3B yazıcılar ile üretilen numuneler 8x15x150 mm boyutlarında kiriş olarak üretilmiştir.

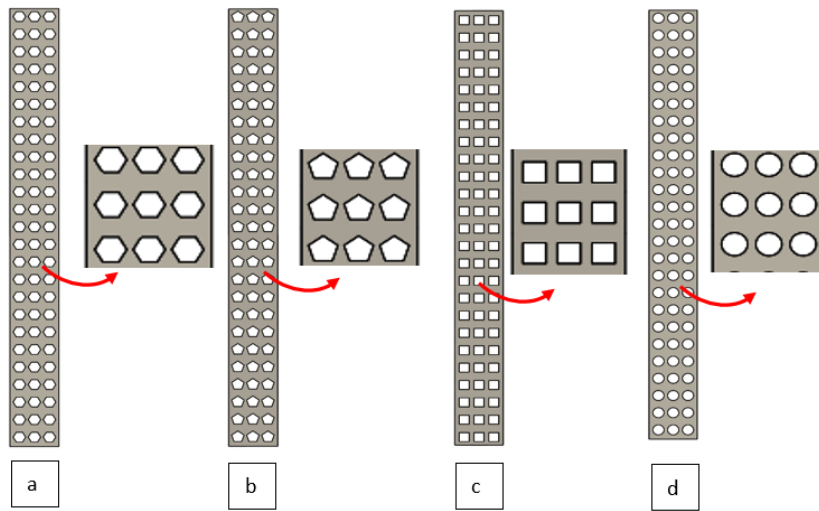
Çizelge 2. PLA Malzeme Mekanik Özellikleri

Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Yoğunluk (Mg/m ³)
56	60	3.5	1.25



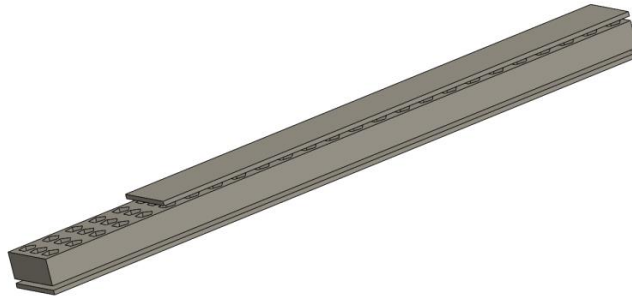
Şekil 2. 3B Yazıcı ile Bal Petekli Yapının Üretilmesi

Şekil 3’de tasarlanan ana kirişin SD Solidworks ortamındaki üçlü altıgen, beşgen, kare ve daire çekirdek yapılarının katı modelleri verilmiştir.



Şekil 3. Farklı geometrilere üretilmiş çekirdek yapıların katı modelleri. a)Altıgen, b)Beşgen, c)Kare ve d) Daire

Aşağıdaki Şekil 4’de ise tasarlanan bal petekli yapının katı model görüntüsü bulunmaktadır. Alt ve üst tabakaların çekirdek yapıdan ayrı görülmesinin nedeni plaka varlığının ve iç çekirdek yapısının gösterilmek istenmesidir.



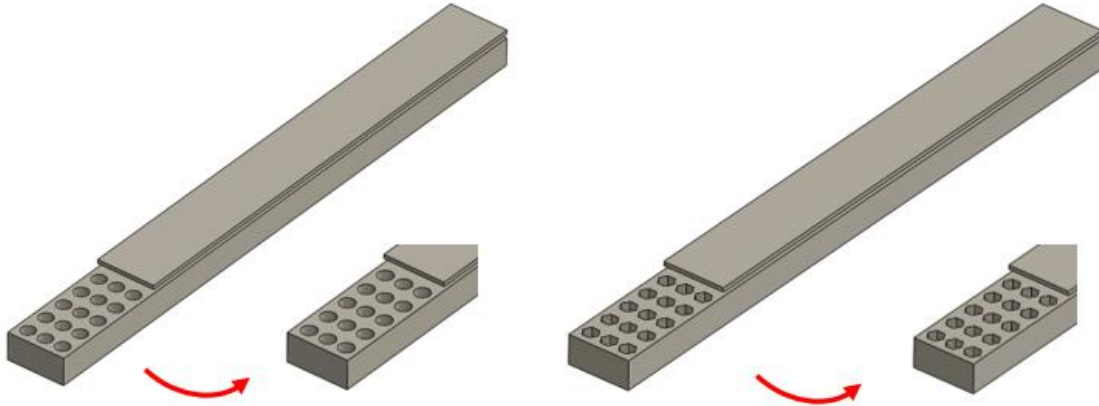
Şekil 4. Tasarlanan Bal Petekli Yapının Katı Modeli

Şekil 5’de görüldüğü üzere üretilen kirişler 3B yazıcıda eklemeli imalat yöntemi ile üretilmiş olup, kirişler bir bütün olarak imal edilmiştir. Şeffaf malzeme kullanılarak da kirişin iç yapısındaki çekirdekli yapının gösterilmesi amaçlanmıştır. Buna ek olarak ham madde seçimi şeffaf PLA kullanılması ile kirişlerde oluşabilecek hataların daha iyi görülmesi sağlanmıştır.

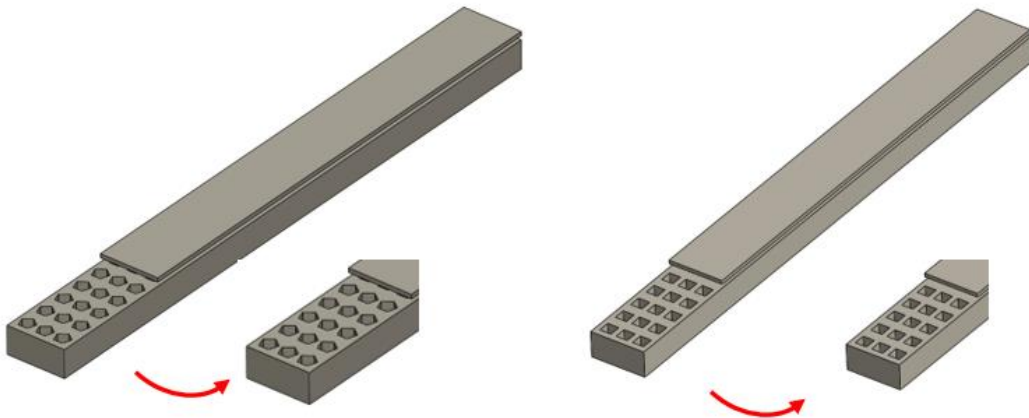


Şekil 5. Kirişin Şeffaf Görüntüsü ile İç Yapısının Görülmesi ve 3B Yazıcıda İmalat Süreci Tam Görünümü

Şekil 6 ve şekil 7’de görüldüğü üzere yapılan tasarımların alt ve üst yüzlerine 1’er mm’lik plaka koyularak deliklerin üst ve alt bölgelerinin kapatılması ile bal peteği yapısında bir sandviç kiriş elde edilmesi sağlandı. Toplam oluşan yeni parçanın yüzey boyutları 150 mm*15 mm olup, et kalınlığı 8 mm olarak imal edilmiştir. Yapılan deneysel analizler ve sonlu elemanlar yöntemi kullanarak yapılan ANSYS Workbench analizleri oluşan bu ana parça boyutlarında olan kirişler üzerinden gerçekleştirilmiştir.



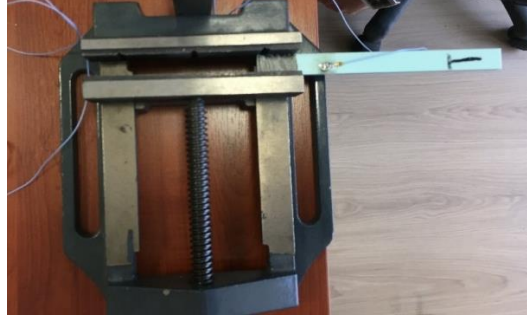
Şekil 6. Üçlü Daire Ve Altıgen Bal Peteği Yapısındaki Kirişler



Şekil 7. Üçlü Eşkenar Beşgen Ve Kare Bal Peteği Yapısındaki Kirişler

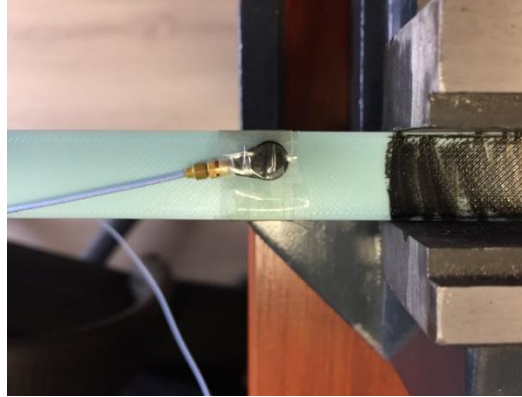
2.2 Titreşim Deneyleri

Kiriş yapılarının titreşim analizinin deneysel metodunda en çok kullanılan yöntemlerden biri, kirişe bir sinyal verilmesi ve verilen bu sinyalin titreşim grafiğinden kirişin doğal frekansının hesaplanmasıdır. Şekil 8’de görüldüğü üzere çalışmada kiriş bir ucundan sabitleme aparatının iki çenesine 30 mm’lik çıkıntısı ile tutturulmuştur ve diğer tarafı serbest bırakılarak ankastre yapılı kiriş haline getirilmiştir.



Şekil 8. Titreşim Testi Deney Düzenegi

Çalışmada kullanılan titreşim analizi test düzenegi, sinyali alan bir PCB35C22 model ivme ölçer, PCB35C22 model Piezoelectric ICP Accelerometer, ivme ölçerden gelen verileri toplamaya yarayan bir veri toplama cihazı olan DEWE 43A, veri toplama cihazından gelen impulsları almaya ve okumaya yarayan bir bilgisayar titreşim programı (DEWESoft X) ve programda gelen impulsları grafiğe aktaran analiz arayüzü, fast fourier transform (FFT)’den oluşmaktadır. Deneysel titreşim analizinde ilk olarak, titreşimi yapılacak kiriş numunesine titreşim hareketi verilmiştir. Kirişte oluşan titreşimleri, kirişin üst yüzeyine monte edilmiş olan aşağıdaki şekilde görülen Piezoelectric ICP Accelerometer ivme ölçer gelen titreşim sinyalini veri toplama cihazı DEWE 43 A’ya göndermeyi sağlar. Çalışmada kullanılan PCB 352C22 tipi ivme ölçerin özelliği -54 ile 121 °C arasındaki sıcaklıklardaki çevre şartlarında ve 0,3 ile 200000 Hz çalışma frekansına kadarki koşullarda çalışabilmesidir. Kütleli yaklaşık 0,5 gram olduğu için kullanılan kirişe göre çok az bir ağırlık olup, ağırlığı kolaylıkla ihmal edilebilmektedir (pcb.com, 2019). Aşağıdaki Şekil 9’da görüldüğü üzere kiriş numunesinin sabitleme aparatının yakın kısmına bağlantısı yapılmıştır.

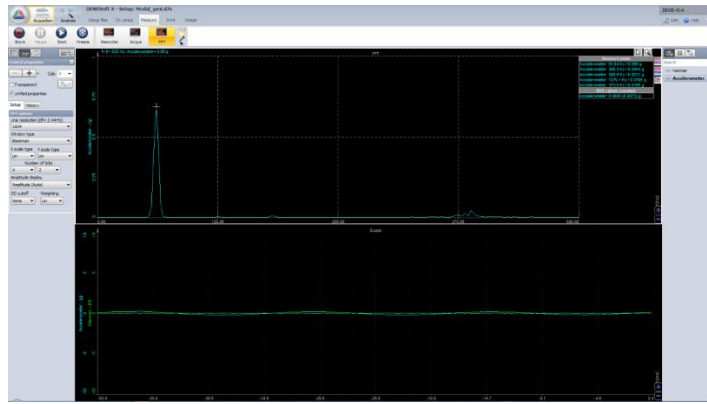


Şekil 9. İvme Ölçer'in Kiriş Numunesi Üzerine Yerleştirilmesi

İvmeölçer, aldığı titreşim sinyallerini, kablo aracılığıyla veri toplama cihazı olan DEWE 43A’ya gönderir. DEWE 43A, dinamik verileri toplamada kullanılan ve hızlı veri aktarımı yapabilen test ve ölçüm cihazıdır. Şekil 10’da çalışmada kullanılan DEWE 43A ve bağlantısı görülmektedir. Veri toplama cihazı topladığı sinyalleri bilgisayar programına gönderir. DEWESoft X gelişmiş ortalama almaya yarayan, 64.000’den fazla seçilebilir çözünürlük sağlayan ve bant genişliğinin doğrudan spesifikasyonu ile spektral analiz için tüm ana fonksiyonları sağlamaya yarayan bir titreşim analiz programıdır. Bilgisayar programı gelen impulsları FFT analizine gönderir ve kirişin titreşim değerleri grafiğe aktarılmış olur (Şekil 11).



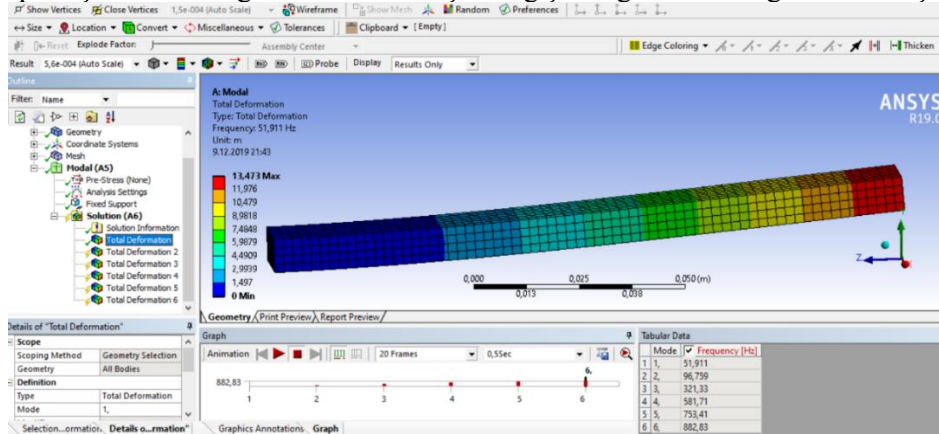
Şekil 10. Çalışmada Kullanılan DEWE 43 A Veri Sistemi



Şekil 11. Deneysel Analiz ile Elde Edilen Titreşim Frekansının Grafik Arayüzü

2.3 Nümerik Analiz

Nümerik analizler deneysel veriler kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Nümerik olarak Ansys'de oluşturulan modellerde tüm parçalar yekpare olarak (bonded) kabul edilmiştir. Ansys Workbench, oluşturulan petek modelleri için eleman tipini 4 düğümlü 6 serbestlik derecesine (u_x , u_y , u_z , $RotX$, $RotY$ ve $RotZ$) sahip yüzey elemanı seçilmiştir. Modellenen kompozit levhaların alt ve üst yüzeyini mesnetlemek amacıyla, alt ve üst yüzeydeki PLA plakalarda tüm düğümlerde x ve y yönündeki yer değiştirmelerin sıfır ($u_x = u_y = 0$) z-yönündeki yer değiştirmelerin ise serbest olduğu kabul edilmiştir ($u_z = free$). Modellenen kiriş 1932 elemana ve 10250 düğüme bölünerek ağ örümü yapılmış daha fazla ağ örümünün de sonuçlar değişmediğinden bu değerler alınmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Nümerik Analiz için oluşturulan Sonlu Elemanlar Modeli

3. DENEYSSEL BULGULAR

Numune hücresel yapısının doğal frekans üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğu Çizelge 3'den açıkça görülmektedir. Üçlü bal peteği yapılarının nümerik (Ansys) analiz sonuçları Çizelge 3'de incelendiğinde, tüm bal peteği yapılarında Mod sayıları arttığında kirişin doğal frekans değerleri artmaktadır. Üçlü dörtgen, üçlü beşgen, üçlü altıgen ve üçlü daire yapıdan elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en düşük frekans değeri 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri için 53,464 Hz, 329,79 Hz ve 900,72 Hz değeri ile üçlü daire yapıda oluşmaktadır. Buna karşın en büyük doğal frekans değerleri 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri için 53,758 Hz, 331,32 Hz ve 905,02 Hz ile üçlü altıgen yapıda elde edilmiştir. Üçlü altıgen-kare-daire yapı ile üçlü beşgen-altıgen-daire yapı karşılaştırıldığında üçlü beşgen-altıgen-daire yapının 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri daha fazladır. Bu değerler ile bal peteği yapısının geometrisinin değişimi ile doğal frekans değerlerinin değişebileceği görülmüştür. Hücre yapıların Modları karşılaştırıldığında 3. Modlar üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Tüm bu çıkarımlar sonucunda numunelerin doğal frekansları istenilen frekans aralığına göre optimize edilebileceği belirlenmiştir.

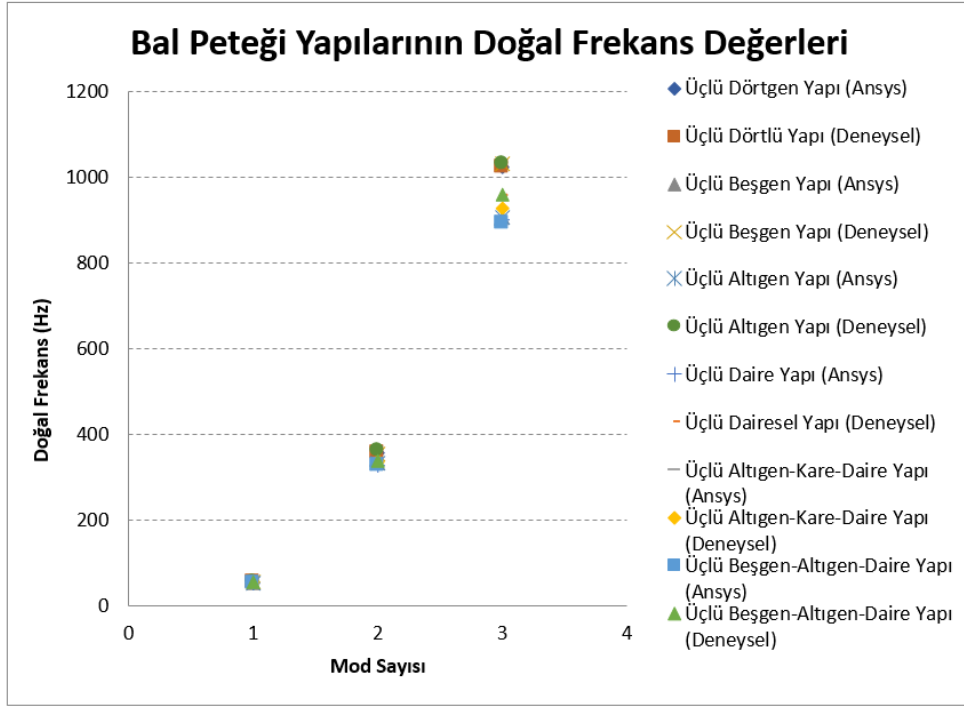
Çizelge 3. Üçlü Bal Peteği Yapılarının Ansys Analiz Sonuçları

ÜÇLÜ YAPILAR	1. Mod(Hz)	2. Mod(Hz)	3. Mod (Hz)
ÜÇLÜ DÖRTGEN YAPI	53,565	330,19	902,15
ÜÇLÜ BEŞGEN YAPI	53,677	330,77	903,5
ÜÇLÜ ALTIGEN YAPI	53,758	331,32	905,02
ÜÇLÜ DAİRE YAPI	53,494	329,79	900,72
ÜÇLÜ ALTIGEN-KARE-DAİRE YAPI	52,706	324,6	885,48
ÜÇLÜ BEŞGEN-ALTIGEN-DAİRE YAPI	52,979	326,6	892,3

Üçlü bal peteği yapılarının Deneysel analiz sonuçları Çizelge 4'de incelendiğinde, tüm bal peteği yapılarında Mod sayıları arttığında kirişin doğal frekans değerleri artmaktadır. En düşük frekans değeri 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri için 54,57 Hz, 336,1 Hz ve 956,2 Hz değeri ile üçlü daire yapıda oluşmaktadır. Buna karşın en büyük doğal frekans değerleri 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri için 58,01 Hz, 360,5 Hz ve 1030,6 Hz ile üçlü altıgen yapıda elde edilmiştir. Üçlü altıgen-kare-daire yapı ile üçlü beşgen-altıgen-daire yapı karşılaştırıldığında üçlü beşgen-altıgen-daire yapının 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri daha fazladır. Bu değerler ile bal peteği yapısının geometrisinin değişimi ile doğal frekans değerlerinin değişebileceği görülmüştür.

Çizelge 4.Üçlü Bal Peteği Yapılarının Deneysel Analiz Sonuçları

ÜÇLÜ YAPILAR	1. Mod(Hz)	2. Mod(Hz)	3. Mod(Hz)
ÜÇLÜ DÖRTGEN YAPI	57,89	357,1	1022,8
ÜÇLÜ BEŞGEN YAPI	57,89	354,7	1030,4
ÜÇLÜ ALTIGEN YAPI	58,01	360,5	1030,6
ÜÇLÜ DAİRE YAPI	54,57	336,1	956,2
ÜÇLÜ ALTIGEN-KARE-DAİRE YAPI	54,89	337,34	928,2
ÜÇLÜ BEŞGEN-ALTIGEN-DAİRE YAPI	55,45	340,56	959,7



Şekil 13. Bal Peteği Yapılarının Doğal Frekans Değerleri

Şekil 13’de bal peteği yapılarının doğal frekans değişimleri görülmektedir. Şekil incelendiğinde doğal frekans değerleri hem ansys sonuçları hem de deneysel sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. Mod sayıları arttığında frekans değerlerinde de artma görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Çalışmada PLA malzemesiyle 3B yazıcılar ile üretilen bal petekli kiriş yapılarının kolay bir şekilde, ucuz, çevreye duyarlı ve geri dönüşümlü olarak kullanılmasıyla istenilen ölçü ve boyutta üretilebileceği gösterilmiştir. Çalışmada kullanılan PLA malzemesi ve 3B yazıcı modelinin ve benzerlerinin otomotiv ve otomotiv yan sanayi sektörü başta olmak üzere birçok sektörde güvenle ve seri bir şekilde kullanılabilirliği gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan kirişlerde deneysel analizlerde oluşan modlar ile nümerik analizden elde edilen sonuçlar arasındaki farklar olması ise deney sırasında kullanılan kirişin üretim hatalarından ve malzemenin iç yapısında oluşan hava boşluklarından kaynaklanmıştır. Fakat yine de deneysel analiz ile elde edilen mod değerlerinin her birinin nümerik analiz değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, analizlerde oluşabilecek hata payının istenilen hata aralığında olduğu için analizlerinin birbiri ile yakın olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan kirişlere çekme deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlar kirişlerin nümerik analizde kullanılarak gerçeğe yakın sonuçların bulunması sağlanmıştır. Üçlü bal peteği yapılarının tüm bal peteği yapılarında mod sayıları arttığında kirişin doğal frekans değerleri arttığı görülmüştür. En düşük frekans değeri 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri için üçlü daire yapısında oluşmaktadır. Buna karşın en büyük doğal frekans değerleri 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri için üçlü altıgen yapıda elde edilmiştir. Üçlü altıgen-kare-daire yapısı ile üçlü beşgen-altıgen-daire yapıları karşılaştırıldığında üçlü beşgen-altıgen-daire yapısının 1. Mod, 2. Mod ve 3. Mod değerleri daha fazla olduğu gösterilmiştir. Bu değerler ile bal peteği yapısının geometrisinin değişimi ile doğal frekans değerlerinin değişebileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından 2020FEBE025 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Alkan, H. "Honeycomb Nedir?, Nerelerde Kullanılır?", <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/honeycomb-nedir-nerelerde-kullanilir>, Erişim Tarihi, Mayıs, 2021.
2. Ahmad N., Ranganath R. and Ghosal A., "Modeling and Experimental Study Of A Honeycomb Beam Filled With Damping Particles", Elsevier Journal of Sound and Vibration, Vol. 391, Pages 20-34, 2017.
3. Ahsanfar M. and Galehdari S., "Optimum Design For Graded Honeycomb As Energy Absorber Device in Elevator Cabin", Elsevier Procedia Engineering, Vol. 173, Pages 1291-1298, 2017.
4. Cuiver D., Odent J., Delille R., Murariu M., Lauro F., Raquez J., Bennani B. and Dubois P., "Tailoring Polylactide (PLA) Properties For Automotive Applications: Effect Of Addition Of Designed Additives On Main Mechanical Properties", Elsevier Polymer Testing, Vol. 36, Pages 1-9, 2014.
5. Debruyne S., Vandepitte D. and Moens D., "Identification Of Design Parameter Variability Of Honeycomb Sandwich Beams From A Study Of Limited Available Experimental Dynamic Structural Response Data", Elsevier Computers and Structures, Vol. 146, Pages 197-213, 2013.
6. Debruyne S., Vandepitte D. and Moens D., "Identification Of Design Parameter Variability Of Honeycomb Sandwich Beams From A Study Of Limited Available Experimental Dynamic Structural Response Data", Elsevier Computers and Structures, Vol. 146, Pages 197-213, 2013.
7. Eloy F., Gomes G., Ancelotti A., Cunha S., Bombard A. and Junqueira D., "A numerical-experimental dynamic analysis of composite sandwich beam with magnetorheological elastomer honeycomb core", Composite Structures, Vol. 209, Pages 242-257, 2019.
8. Heimbs, S., Cichosz, J., Kilchert, S. ve Klaus, M., "Sandwich Panels With Cellular Cores Made Of Folded Composite Material: Mechanical Behaviour And Impact Performance", 17th International Conference on Composite Materials (ICCM-17), Edinburgh, Pages 137-150, 2009.
9. Hosseini S., Willberg C., Kharaghani A. and Gabbert U., "Characterization Of The Guided Wave Propagation In Simplified Foam, Honeycomb And Hollow Sphere Structures", Vol. 56, Pages 553-566, 2014.
10. Jiang C., Xiang Y., He P. and He H., "Vibration Attenuation Behaviors Of Finite Sandwich Plates With Periodic Core", Elsevier Applied Acoustics, Vol. 157, Pages 107-109, 2020.
11. Khakalo S., Balobanov V. and Niiranen J., "Modelling Size-Dependent Bending, Buckling And Vibrations Of 2D Triangular Lattices By Strain Gradient Elasticity Models: Applications To Sandwich Beams And Auxetics", Elsevier International Journal of Engineering Science", Vol. 127, Pages 33-52, 2018.
12. Trelease E., "Poliüretan Köpük İle Doldurulmuş Bal Peteği Sandviç Plakların Titreşim Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Elazığ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, Sayfa 15-35, 2018.
13. Sahu S., Badgayan N., Samanta S., Sahu D. and Sreekanth P., " Influence Of Cell Size On Out Of Plane Stiffness And in-Plane Compliance Character Of The Sandwich Beam Made With Tunable PCTPE Nylon Honeycomb Core And Hybrid Polymer Nanocomposite Skin", Mechanical Sciences, Vol. 148, Pages 284-292, 2018.
14. Wang Y., Zhang Z., Xue X., and Zhang L., "Free Vibration Analysis Of Composite Sandwich Panels With Hierarchical Honeycomb Sandwich Core", Elsevier Thin-Walled Structures, Vol. 145, Pages 106-125, 2019.
15. Zhang Z., Han B., Zhang Q. and Jin F., "Free Vibration Analysis Of Sandwich Beams with Honeycomb-Corrugation Hybrid Cores", Composite Structures, Vol. 171, Pages 335-344, 2017.
16. Zhang Z., Zhang Q., Li F., Yang J., Liu J., Liu Z. and Jin F., "Modal Characteristics Of Micro-Perforated Sandwich Beams With Square Honeycomb-Corrugation Hybrid Cores: A Mixed Experimental-Numerical Study", Elsevier Thin-Walled Structures, Vol. 137, Pages 185-196, 2019.

17. Korkmaz, İ.H: “Çift Katmanlı Kemik Modeli ile Diz Protezi Dizilimi Eldesi Ve Sonlu Elemanlar Analizi ile Değerlendirilmesi”, SAU Fen Bil Der, Vol. 16, Pages 189-194, 2014.
18. Belev M., ve Turgay G., “Alüminyum ve Kompozit Dizaltı Protezlerin Uygunluğunun Deneysel ve Nümerik Olarak Belirlenmesi”, Electronic Journal of Machine Technologies, Vol. 6, Pages 55-69, 2009.
19. Özsoy K, Aksoy B, Yücel M., “Design And Manufacture Of Continuous Automatic 3D Printing Device With Conveyor System By Image Processing Technology”, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi vol.13, Page 392-403, 2020.
20. Aksoy B, Özsoy K, Salman OKM, Sayın İ., “Artificial Intelligence Applications for Medical Diagnosis and Production with 3D Printing Technologies”, Artificial Intelligence for Data-Driven Medical Diagnosis, 2021.