



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Farklı Taşıma Yükleri Altında Kompleks Kesitli Esnek Bir Kirişin Deneysel ve Nümerik Titreşim Analizi

Experimental and Numerical Vibration Analysis of a Flexible Beam with Complex Cross-Section Under Different Payloads

Yazar(lar) (Author(s)): Mehmet DİRİLMİŞ¹

¹ ORCID ID: 0000- 0003-2287-8511

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dirilmiş M., “Farklı Taşıma Yükleri Altında Kompleks Kesitli Esnek Bir Kirişin Deneysel ve Nümerik Titreşim Analizi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(1): 55-63, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Farklı Taşıma Yükleri Altında Kompleks Kesitli Esnek Bir Kirişin Deneysel ve Nümerik Titreşim Analizi

Mehmet DİRİLMİŞ^{1,*}

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 63190, Haliliye/Şanlıurfa

Öz

Bu çalışmada, kompleks kesitli ankastre bir kirişin titreşim analizi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Kompleks kesitli kiriş olarak 20 x 20 mm Alüminyum Sigma profil kullanılmıştır. İncelenen sistemin deneysel titreşim cevabını elde etmek için bir çekiç yardımıyla kiriş uyarılmıştır. Kirişin uç noktasından ivmemetre sensörü ve lazer deplasman sensörü ile anlık ivme ve konum değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen titreşim cevapları Matlab programında yazılan sinyal işleme programı ile filtrelenmiş ve frekans spektrumları elde edilmiştir. İncelenen ankastre kiriş Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Analizlerde kirişin bir ucu ankastre ve taşıma yükü eklenen diğer ucu serbest olarak kabul edilmiştir. Kirişe monte edilen taşıma yükünün konumu değiştirilerek titreşim cevabına ve doğal frekanslara olan etkileri deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Taşıma yükü konumu kök kısma doğru yaklaştıkça yapının doğal frekanslarının arttığı, serbest uca doğru yaklaştıkça doğal frekansların düştüğü görülmüştür. Analizlerden elde edilen deneysel ve simülasyon sonuçlarının birbiri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

Experimental and Numerical Vibration Analysis of a Flexible Beam with Complex Cross-Section Under Different Payloads

Abstract

In this study, vibration analysis of a cantilever beam with complex cross-section was investigated experimentally and numerically. A 20 x 20 mm Aluminum Sigma profile was used as a complex cross-section beam. The beam was excited with a hammer to obtain the experimental vibration response of the system. Instantaneous acceleration and displacement values were recorded from the endpoint of the beam with the accelerometer sensor and laser displacement sensor. The vibration responses obtained were filtered with the signal processing program written in the Matlab program and frequency spectra was obtained. The analyzed cantilever beam was modeled by the finite element method according to the Euler-Bernoulli beam theory. In the analyzes, one end of the beam was assumed to be fixed and the other end with a load as free. Changing the position of the load mounted on the beam, its effects on vibration response, and natural frequencies have been studied experimentally and numerically. It has been observed that the natural frequencies of the structure increase as the load position approaches towards the root, and the natural frequencies decrease as it approaches the free end. It was seen that the experimental and simulation results obtained from the analysis were in harmony with each other.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/02/2021

Yayın: 30/04/2021

Anahtar Kelimeler

Modal analiz

Deneysel titreşim analizi

Doğal frekans

Esnek kiriş

Sinyal analizi

Sonlu elemanlar metodu

Keywords

Modal analysis

Experimental vibration analysis

Natural frequency

Flexible beam

Signal analysis

Finite element method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapıların çeşitli yükler altında stabil olması ve istenen mekanik özellikleri sergilemesi mühendislik açısından önemli bir konudur [1]. Yapılardaki titreşim analizi, tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli bir konudur ve yapının çeşitli yükleme ve çalışma durumlarındaki dinamik davranışları hakkında fikir verir. Bu analizler deneysel ve nümerik olarak çeşitli yöntemler ile yapılır. Titreşim kaynaklı arızalardan sakınmak ve rezonans bölgelerinden uzaklaşmak için tasarım aşamasında çeşitli yapı

* Mehmet DİRİLMİŞ, e-mail: mehmet.dirilmis@harran.edu.tr

elemanlarının titreşim analizlerinin yapılması önemlidir. Kiriş yapılar uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta olup farklı mesnet türleri ve konfigürasyonlarda bulunurlar [2, 3].

Weaver vd. [4], farklı mühendislik yapılarının aksenal yük etkisi altındaki serbest titreşimlerini incelemiştir. Wu ve Chou [5], üzerinde noktasal kütle ve yay-kütle sisteminin olduğu ankastre bir kirişin doğal frekanslarını ve mod şekillerini analitik ve nümerik olarak analiz etmişlerdir. Yeşilce ve Demirdağ [6], üzerinde yay-kütle sistemi bulunan çok aralıklı bir kirişin aksenal yük altındaki doğal frekanslarını ve mod şekillerini incelemiştir. Lin [7], üzerinde kütle-yay sistemleri bulunan çok aralıklı Timoshenko kirişinin doğal frekanslarını ve titreşim biçimlerini incelemiştir. Daş ve Yılmaz [8] ise çatlak içeren çelik ve kompozit olmak üzere iki farklı malzemeden yapılmış olan dairesel eğri kirişlerin düzlem içi titreşimlerini ANSYS sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Farklı konum ve derinlikteki çatlakların kirişin doğal frekansına olan etkilerini incelemiştir. Koçyiğit ve Akbaş [9], Euler-Bernoulli çubuk teorisi çerçevesinde, kenarında çatlaklar bulunan tek açıklıklı bir çerçeve taşıyıcının sönümsüz ve sönümlü zorlanmış titreşim cevaplarını incelemiştir.

Euler kiriş modelinin burkulma ve dinamik analizi konusu mekanik, sivil havacılık mühendisliği ve makine mühendisliği uygulamalarında büyük önem taşımaktadır [10].

Yılmaz [11], farklı konumlarda ve derinliklerde çatlak içeren eğri kompozit kirişler ile çatlaksız eğri kompozit kirişlerin doğal frekans değerlerinin değişimini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Çatlak derinliği arttıkça her iki mesnet durumu için kompozit kirişlerde doğal frekans değerlerinin azaldığını, çatlak konumu sabit mesnetten uzaklaştıkça kirişlere ait doğal frekans değerlerinin arttığını göstermiştir. Çatlaksız eğri kirişler için doğal frekans değerlerinin çatlaklı eğri kirişlerden daha yüksek olduğu sonucunu elde etmiştir.

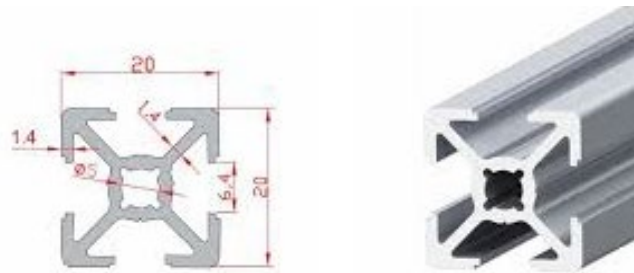
Ankastre kiriş veya konsollar, mühendislik uygulamalarında önemli bileşenlerden biri olarak kabul edilir. Bu uygulamaların örnekleri, sabit kanatlı uçak, helikopter fan kanatları ve güneş panelleri gibi mekanik ve havacılık modellerinde kullanılan konsollardır. Ayrıca inşaat mühendisliği bu yapıları konsol köprü ve balkonlarda kullanır. Makine ve inşaat yapıları daha esnek olmalı ve yüksek gerilme seviyelerine dayanabilmelidir. Bu nedenle, en iyi konsol kiriş tasarımları, minimum ağırlık ve maliyet etkinliği ile maksimum güç ve uzun ömür gibi çoklu hedeflerin optimizasyonuna dayanmaktadır. Bir yapıdaki hataları ve kusurları tespit etmek için bir dizi tahribatsız teknik mevcuttur [12].

Titreşim teorisinin modal parametrelerle, yani frekans, sönümlenme ve mod şekilleri ile ilişkili olduğu iyi bilinmektedir. Bu modal parametreler, kütle, sönümlenme, dirençlilik, ivme, hız ve yer değiştirme ile ifade edilen fiziksel bir modelin diferansiyel hareket denkleminin homojen kısmının çözümleridir [13].

Bu çalışmada kiriş olarak kompleks bir kesit alanına sahip olan Alüminyum sigma profil kullanılmıştır. İncelenen kirişin bir ucu ankastre diğer ucu serbest olacak şekilde deney seti oluşturulmuştur. Serbest uçtan ankastre uca doğru yükleme noktası kaydırılarak oluşturulan analiz setleri için deneysel ve nümerik doğal frekans analizleri yapılmıştır.

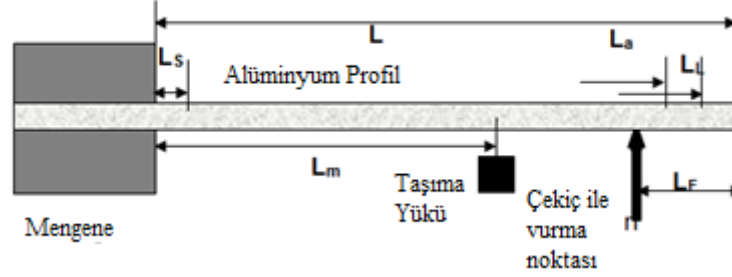
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Kompleks kesitli Alüminyum sigma profillerin statik ve dinamik yüklere karşı sağlamlığı, montaj kolaylığı, asgari malzeme sarfiyatı gibi avantajları nedeniyle kullanım oranları giderek artmaktadır. Düşük ağırlık ve yüksek mukavemet değerleri ile ön plana çıkmaktadır. Deney ve analizlerde kullanılan 20 x 20 mm Alüminyum sigma profil Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. 20 x 20 mm Alüminyum sigma profil

İncelenen kirişin şematik gösterimi Şekil 2’de yer almaktadır. Kiriş elemanı bir ucundan yerdeki mengene sistemine bağlanarak ankastre mesnet bağlantısı oluşturulmuştur. Serbest ucun farklı konumlarına taşıma yükü asılarak analizler yapılmıştır. Burada, L kirişin boyunu, L_a ivmemetrenin bağlandığı noktayı, L_L Lazer deplasman sensörünün bağlandığı noktayı, L_F çekiç ile impuls kuvvetin uygulandığı noktayı ve L_m taşıma yükünün asıldığı noktayı temsil etmektedir. Analizlerde kullanılan kiriş için malzeme cinsi AL-1060 Alüminyum alaşım, Elastisite modülü 69 GPa ve yoğunluk değeri 2700 kg/m³ değerleri alınmıştır. İncelenen kirişin fiziksel özellikleri Tablo 1’de yer almaktadır.



Şekil 2. Analizlerde kullanılan ankastre kiriş modeli

Tablo 1. Kirişin mekanik özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (N/m ²)	Poisson oranı	Yoğunluk (kg/m ³)
Al-1060 Alaşım	69e+10	0.33	2700

Analizlerde kiriş boyu olarak $L=910$ mm, $L_a = 735$ mm, $L_L = 780$ mm değerleri kullanılmıştır. Kuvvetin uygulandığı noktanın ankastre uçtan itibaren konumu 620 mm olarak alınmıştır. 1066 gram değerindeki taşıma yükünün kiriş üzerinde uygulandığı nokta uç noktadan köke doğru kaydırılarak farklı analiz modelleri oluşturulmuştur. Analizler için belirlenmiş olan model özellikleri Tablo 2’de yer almaktadır. Taşıma yükü için 1 kg’lık alüminyum kütleye 66 gram olarak hassas terazide tartılan bağlantı elemanları kütlesi ilave edilmiştir. Toplam 1066 gramlık taşıma yükü kirişin farklı konumlarına etki ettirilerek ölçümler ve analizler yapılmıştır.

Tablo 2. Analizlerde kullanılan modellere ait özellikler

	L (m)	L_a (m)	L_L (m)	L_F (m)	L_m (m)	Taşıma Yüğü (kg)
Model-1	0.910	0.735	0.780	0.620	-	-
Model-2	0.910	0.735	0.780	0.620	0.910	1.066
Model-3	0.910	0.735	0.780	0.620	0.700	1.066

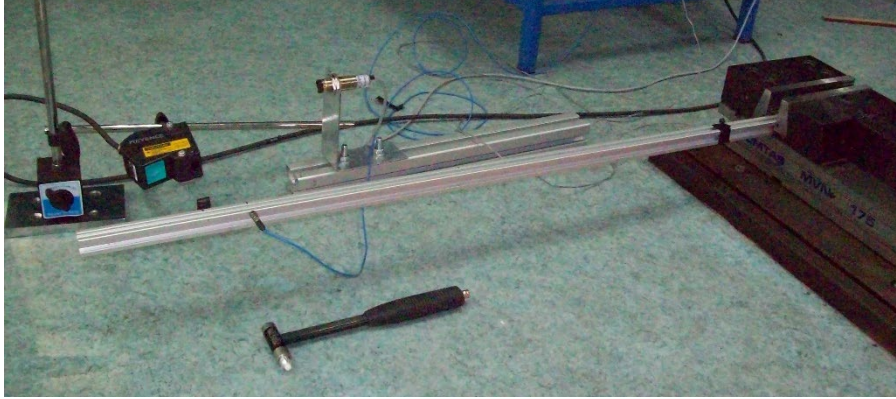
Bir ucu ankastre diğer ucu serbest olup uç kütle içermeyen sistem için Model-1; en uçta taşıma yükü kütlesi içeren sistem için Model-2; $L_m=700$ mm mesafede taşıma yükü kütlesi içeren sistem için de Model-3 ifadeleri kullanılmıştır. Çekiç ile L_F mesafesinden kirişe ani bir kuvvet uygulanmış, sistemin impuls cevabı ivmemetre ve lazer deplasman sensörleri ile kaydedilmiştir. Belirtilen her model için ivmemetre ve lazer deplasman sensörü ile deneysel analiz ve Solidworks programı ile nümerik analiz yapılmıştır. Solidworks programında incelenen kirişin modeli oluşturularak frekans analizi yapılmıştır. Mengeneye bağlanan uç ankastre olarak seçilmiştir. Default solid mesh ile kiriş sistemi sonlu elemanlara bölünmüş ve kiriş sisteminin doğal frekansları ile titreşim biçimleri farklı yükleme konumları için elde edilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA (TEST RESULTS AND DISCUSSIONS)

Tablo 2’de belirtilmiş olan modellere ait analizler deneysel ve nümerik olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

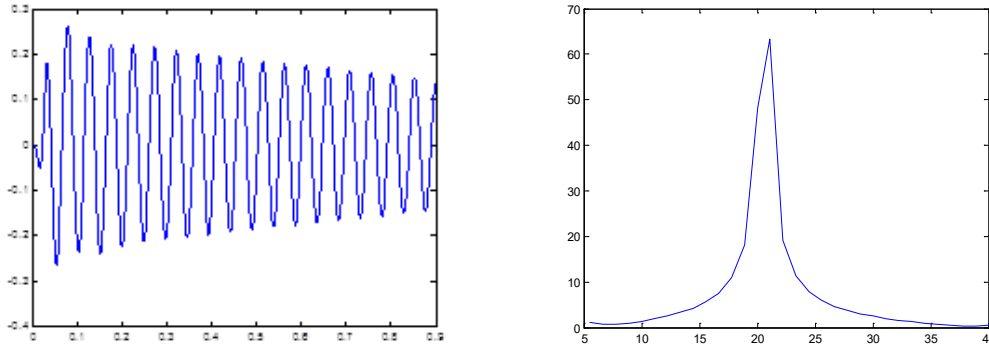
3.1. Model-1 analiz sonuçları (Model-1 analysis results)

Model-1 için deneysel sistem Şekil 3’te yer almaktadır. İncelenen kirişin bir ucu mengene sistemine bağlanmış ve bağlantı kısımları her iki yüzeyden sıkılmıştır. Kuvvet uygulama yönü z eksenindedir. Sistem ivmemetre setinde yer alan özel çekiç ile tahrik edilmiştir. Farklı malzeme türleri için farklı çekiç başlıkları kullanılmakta olup bu analizlerde alüminyum profiller için orta-beyaz plastik başlık seçilmiştir.

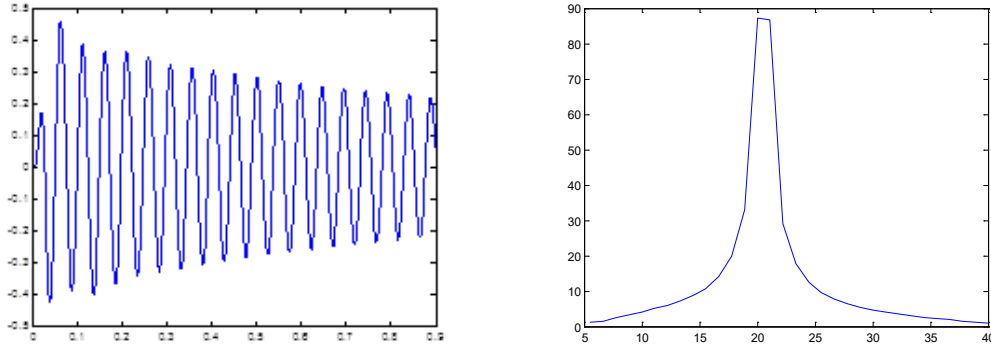


Şekil 3. Model-1 için deneysel çalışmalar

Kiriş üzerinde La mesafesinde kiriş yüzeyine bağlı olan ivmemetre ile ivme sinyalleri kaydedilmiştir. LL mesafesine ayarlanan lazer deplasman sensörü ile de titreşim cevabının anlık deplasman değerleri ölçüm sistemi ile kaydedilerek kayıt dataları elde edilmiştir. İvme ve lazer deplasman sinyallerinden elde edilen titreşim cevabı ile frekans spektrumu grafikleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5’te gösterilmiştir. Bu grafiklerde, ivmemetre ve lazer sinyallerinden elde edilen titreşim sinyallerine filtreleme ve FFT (Fast Fourier Transformu) uygulanmıştır. Elde edilen frekans spektrumu grafiklerinde maksimum genlik ve doğal frekans değerleri görülmektedir.

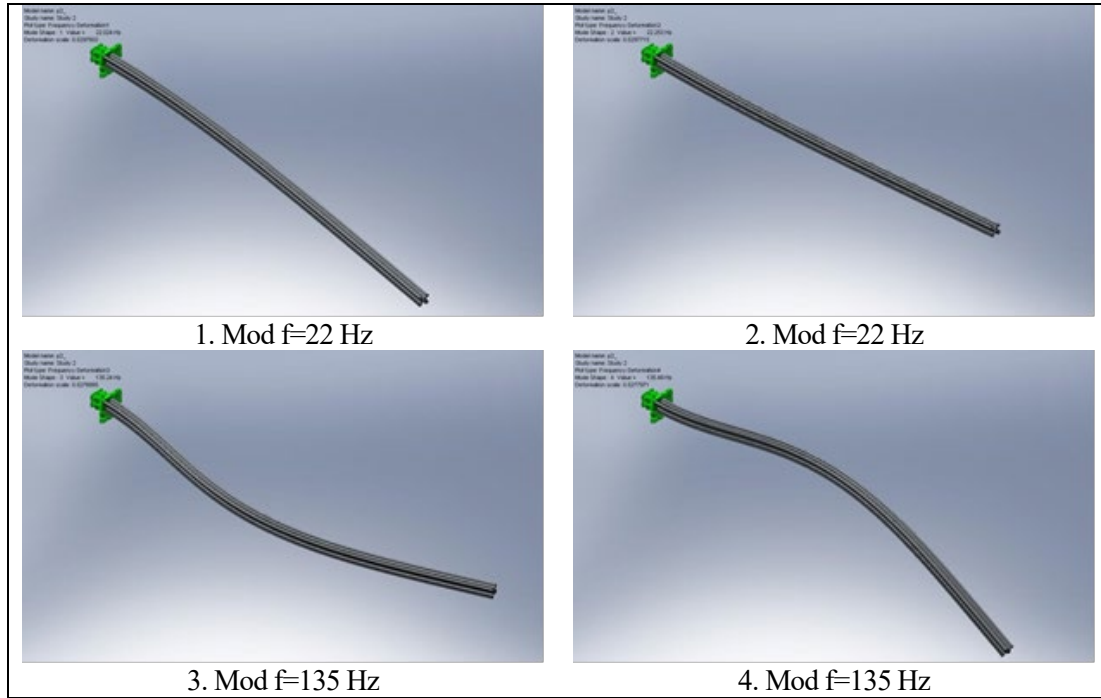


Şekil 4. Model-1 için ivmemetre sinyali ve frekans spektrumu



Şekil 5. Model-1 için lazer sinyali ve frekans spektrumu

Yapının sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analizi için Solidworks programı kullanılmıştır. Model-1 için yapılan analiz sonucunda elde edilen doğal frekans değerleri ve kirişin titreşim biçimleri Şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 6. Solidworks titreşim analizi sonuçları

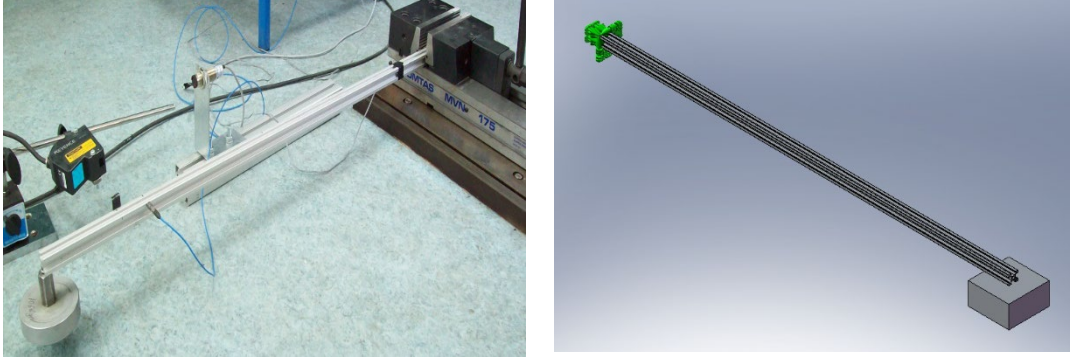
Model-1 için toplu sonuçlar Tablo 3'te yer almaktadır. Kiriş yapısının 1. doğal frekansı ivme datasından 21.11 Hz, lazer deplasman datasından 20 Hz ve nümerik analizden 22.02 Hz olarak bulunmuştur. Sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 3. Model-1 için doğal frekans sonuçları

Frekans Numarası	DeneySEL İvmemetre Sinyali	DeneySEL Lazer Sinyali	Solidworks Frekans Analizi
1. Doğal Frekans (Hz)	21.11	20	22.02

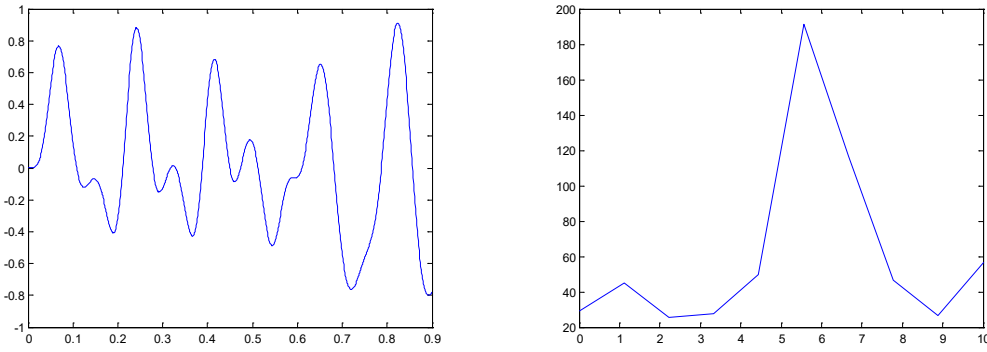
3.2. Model-2 analiz sonuçları (Model-2 analysis results)

Bu analizde kiriş ucunda $L_m=L$ mesafesinde 1066 gramlık yük asılıdır. Model-2 için deneysel sistem Şekil 7'de yer almaktadır.

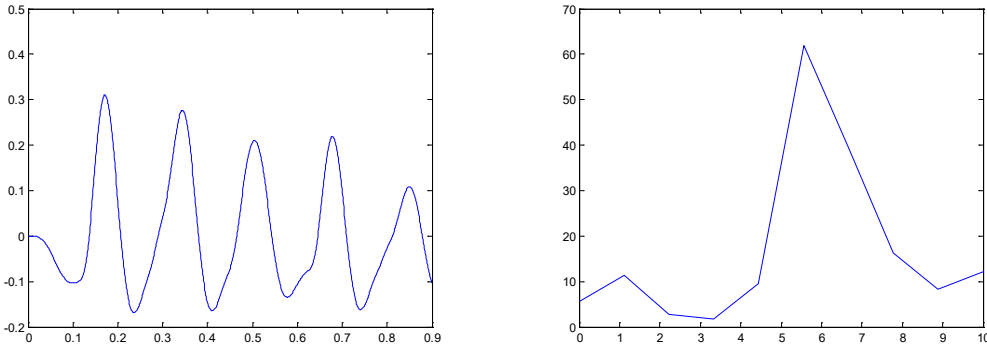


Şekil 7. Model-2 deney sistemi

Model-2'ye ait ivme sinyaline ait titreşim cevabı Şekil 8'de ve lazer sinyaline ait titreşim cevabı Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Model-2 için ivmemetre sinyali ve frekans spektrumu



Şekil 9. Model-2 için Lazer sinyali ve frekans spektrumu

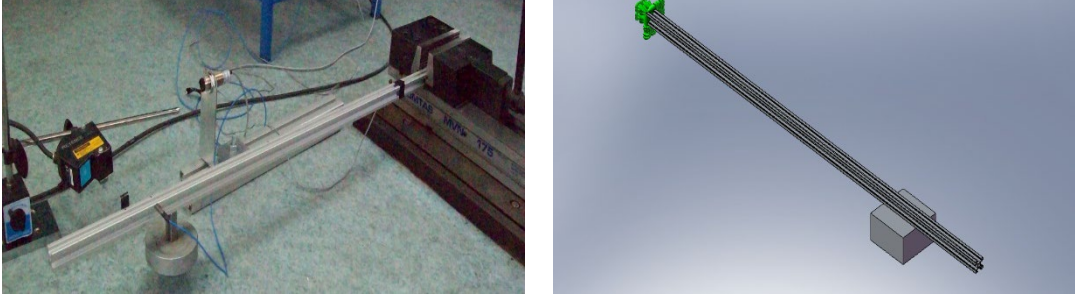
Model-2 için toplu sonuçlar Tablo 4'te yer almaktadır. Kiriş yapısının 1. doğal frekansı ivme dasetinden 5.55 Hz, lazer deplasman dasetinden 5.55 Hz ve nümerik analizden 5.95 Hz olarak bulunmuştur. Sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 4. Model-2 analiz sonuçları

Frekans Numarası	DeneySEL İvmemetre Sinyali	DeneySEL Lazer Sinyali	Solidworks Frekans Analizi
1. Doğal Frekans (Hz)	5.5556	5.5556	5.9573

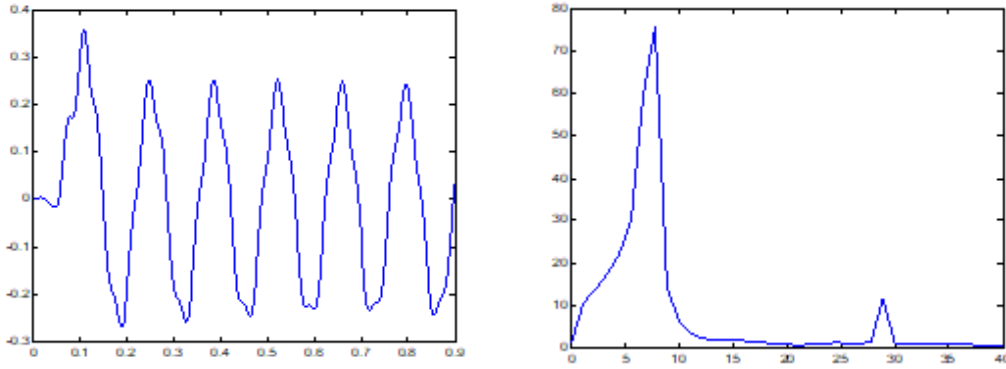
3.3. Model-3 analiz sonuçları (Model-3 analysis results)

Bu analizde kiriş ucunda $L_m=700$ mm mesafesinde 1066 gramlık yük asılıdır. Model-3 için deneysel sistem Şekil 10'da yer almaktadır.

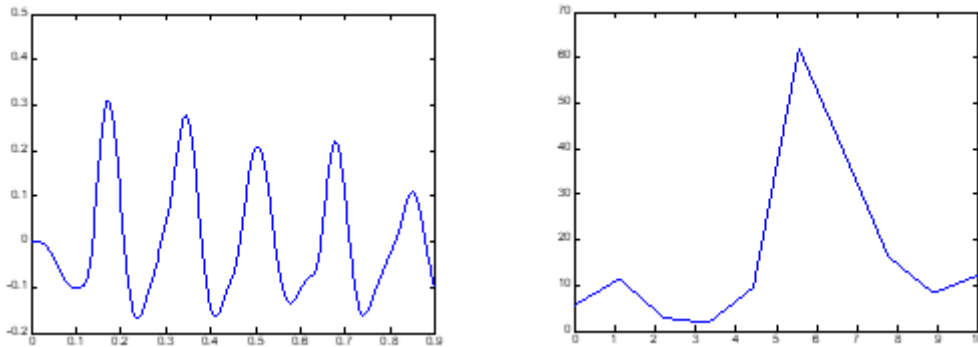


Şekil 10. Model-3 deneysel sistem

Model-3 ivme sinyaline ait titreşim cevabı Şekil 11'de ve lazer sinyaline ait titreşim cevabı Şekil 12'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Model-3 için ivmemetre sinyali ve frekans spektrumu



Şekil 12. Model-3 için Lazer sinyali ve frekans spektrumu

Model-3 için toplu sonuçlar Tablo 5'te yer almaktadır. Kiriş yapısının 1. doğal frekansı ivme dasetinden 7.77 Hz, lazer deplasman dasetinden 7.77 Hz ve nümerik analizden 7.83 Hz olarak bulunmuştur. Sonuçlar birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 5. Model-3 sonuçları

Frekans Numarası	Deneysel İvmemetre Sinyali	Deneysel Lazer Sinyali	Solidworks Frekans Analizi
1. Doğal Frekans	7.7778	7.7778	7.8341

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, kompleks kesitli ankastre bir kirişin titreşim analizi deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Taşıma yükünün farklı yükleme noktaları için 3 farklı analiz modeli oluşturulmuş ve incelenmiştir. Deneysel analizlerde ivmemetre ve lazer deplasman sinyalleri kullanılmıştır. Deneysel ve nümerik analiz sonuçları birbirine çok yakın elde edilmiştir.

Kirişin yüksüz durumda olduğu Model-1 adlı analiz sonuçları incelendiğinde yapının doğal frekans değerinin 22 Hz civarında olduğu görülmüştür. Model-2'de, aynı yapının uç noktasına eklenen 1066 gramlık taşıma yükünün yapının doğal frekansını 5.55 Hz değerine düşürdüğü görülmüştür. Model-3'te, taşıma yükü uç noktadan köke doğru 210 mm kaydırılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. Model-3 analizleri ile taşıma yükü konumunun köke doğru yaklaştırılmasının doğal frekansını 5.55 Hz değerinden 7.77 Hz değerine yükselttiği görülmüştür.

Her 3 modelin analizleri incelendiğinde, en esnek konfigürasyonun Model-2 ve en rijit konfigürasyonun Model-1 olduğu görülmüştür. Uç nokta kütlesi ankastre uca doğru yaklaştıkça doğal frekansların arttığı görülmüştür. Uç kütle konumu kök kısma doğru yaklaştıkça doğal frekanslar artmakta, serbest uca doğru yaklaştıkça doğal frekanslar düşmekte ve yapı daha esnek hale gelmektedir. Bu beklenen sonuçlar deneysel ve simülasyonlarda da aynı şekilde elde edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] G. Demircan, M. Kisa, M. Özen, A. Açıkgöz, B. Aktaş, M. A. Kurt, A bio-based epoxy resin from rosin powder with improved mechanical performance. *Emerging Materials Research*, 9:4 (2020) 1076-1081.
- [2] V. Dive, M. Bhosale, V. Chavan, N. Durugkar, Analysis of Natural Frequencies of Cantilever Beam Using Ansys. *Int. Res. J. Eng. Technol*, 4:5 (2017) 2724-2728.
- [3] T. Nirmall, S. Vimala, Free vibration analysis of cantilever beam of different materials. *International Journal of Applied Engineering Research*, 5:4 (2016) 612-615.
- [4] J. R. Weaver, S. P. Timoshenko, D. H. Young, *Vibration Problems in Engineering*, Van Nostrand Company, New York, (1990) 324-365.
- [5] J. S. Wu, H. M. Chou, A new approach for determining the natural frequencies and mode shapes of a uniform beam carrying any number of sprung masses, *Journal of Sound and Vibration*, 220:3 (1999) 451-468.
- [6] Y. Yesilce, O. Demirdag, Effect of axial force on free vibration of Timoshenko multi-span beam carrying multiple spring-mass systems, *International Journal of Mechanical Sciences*, 50:6 (2008) 995-1003.
- [7] H.Y. Lin, On the natural frequencies and mode shapes of a multi-span Timoshenko beam carrying a number of various concentrated elements, *Journal of Sound and Vibration*, 319 (2009) 593-605.
- [8] T. Daş, A. Yılmaz, Çatlaklı dairesel eğri kompozit kirişlerin titreşim analizleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33:3 (2018) 783-792.
- [9] K. Koçyiğit, Ş. D. Akbaş, Çatlak içeren bir çerçeve taşıyıcı sistemin zorlanmış titreşim analizi, *Politeknik Dergisi*, 2020.

- [10] M. T. Özdemir, Euler-bernoulli kiriş teorisi kullanılarak farklı kesit ve sınır koşullarında çelik lifli kolonun burkulma ve titreşim analizi, Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [11] A. Yılmaz, Çatlaklı eğri kompozit kirişlerin titreşim davranışlarının deneysel ve sayısal analizleri, Yüksek Lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2018.
- [12] G. M. Owolabi, A. S. J. Swamidas, R. Seshadri, Crack detection in beams using changes in frequencies and amplitudes of frequency response functions, Journal of sound and vibration, 265:1 (2003) 1-22.
- [13] Z.A. Jassim, N.N. Ali, F. Mustapha, N.A. AbdulJalil, A review on the vibration analysis for a damage occurrence of a cantilever beam, Engineering Failure Analysis, 31 (2013) 442-461.