



Çatlaklı ankastre sandviç kirişlerin serbest titreşim analizi Free vibration analysis of cracked cantilever sandwich beams

Yusuf Cunedioğlu^{1,*} , Burak Devocioğlu² 

^{1,2} Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

Öz

Bu çalışmada bir ucu ankastre diğer ucu serbest olan kompozit sandviç kirişlerin serbest titreşimi incelenmiştir. Çatlaklı ve çatlaksız halde sandviç kirişin doğal frekanslarının doğrulanması analitik ve ANSYS yazılım programı ile sağlandıktan sonra daha hızlı çözüm elde etmek adına analizler ANSYS programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada U ve V çatlak yapısının doğal frekans değerleri üzerindeki etkisi farklı çatlak konumlarında, farklı çatlak derinliklerinde ve farklı çatlak genişlikleri için incelenmiştir. Çalışmada 3 ve 5 tabakalı sandviç kirişler incelenmiştir. İncelenen bu parametrelerin kirişin doğal frekans değerlerini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çatlak, Serbest titreşim, Kompozit sandviç kiriş, ANSYS

1 Giriş

Kompozit malzemeler günümüzde otomotiv, savunma sanayi, havacılık ve inşaat sektörü başta olmak üzere birçok sektörde kullanılmaktadır. Böyle bir malzemenin yapılmasının amacı bileşenlerin tek başına iken mevcut olmayan bazı özelliklerinin ilave edilen malzeme ile kazandırılmasıdır. Bu yüzden farklı tip malzeme kombinasyonları deneyerek oluşturulan kompozit yapılar gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Kullanım ve çevre şartlarının etkisiyle sandviç kompozit kirişlerde zamanla çatlak hasarları oluşmaktadır. Oluşan bu çatlak hasarları kiriş yapısının dinamik karakteristiklerini etkilemektedir. Yapının rezonans durumuyla karşılaşmaması açısından olası çatlak durumunun dinamik davranışının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Literatürde kompozit sandviç kirişlerin serbest titreşimi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir; Negru ve vd. [1] çalışmalarında izotropik malzemeli ankastre sandviç kirişlerin serbest titreşimlerini incelemişlerdir. Çalışmada U çatlak etkisinin farklı çatlak derinliklerinde kirişin doğal frekans değerleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tam vd. [2] açık kenar çatlakları içeren fonksiyonel olarak derecelendirilmiş grafen nanoplatelet takviyeli kompozit (FG-GPLRC) kirişlerin serbest titreşim ve burkulmasını incelemişlerdir. Çatlak içeren kompozit kirişlerde alt ve üst yüzeylere grafen nanoplatelet malzemesinin daha fazla ilave edilmesinin doğal frekans değerleri üzerinde önemli etkisi olduğunu doğrulamışlardır. Cunedioğlu ve Shabani [3] fonksiyonel olarak derecelendirilmiş çatlak içeren çok

Abstract

In this study, the free vibration of composite sandwich beams, one end of which is fixed and the other end is free, was investigated. The verification of the natural frequencies of the sandwich beam with and without cracks was provided with analytical and ANSYS software. The analyses were carried out with the ANSYS program in order to obtain a faster solution. In the study, the effect of U and V crack structures on natural frequency values was investigated for different crack locations, crack depths, and different crack widths. In the study, 3-layer and 5-layer sandwich beams were examined. It has been observed that these investigated parameters significantly affect the natural frequency values of the beam.

Keywords: Crack, Free vibration, Composite sandwich beam, ANSYS

katmanlı sandviç kirişlerin serbest titreşimini geliştirdikleri bir MATLAB kodu ile lineer elastik kırılma mekaniği teorisi kullanarak incelemişlerdir. Çalışmalarını ANSYS yazılımı ile desteklemişlerdir. Shahdin vd. [4] farklı malzeme kombinasyonları ile oluşturulan kompozit sandviç kirişlerin serbest titreşimini deneysel olarak incelemişlerdir. Shabani ve Cunedioğlu [5] fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin oluşturulan değişken kesitli ve çatlak içeren simetrik kirişin serbest titreşim durumunu incelemişlerdir. Samborski vd. [6] çalışmalarında kirişlerin üzerindeki hasar etkisinin, kirişlerin dinamik davranışına etkisini incelemişlerdir. Çalışmayı değişik sınır şartları altında kirişlerin titreşimlerini simüle etmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Deneysel bulgular ile sayısal sonuçları karşılaştırarak doğrulama yapmışlardır. Gillich vd. [7] sandviç yapıdaki kirişler üzerinde oluşan çatlakların davranışlarını incelemişlerdir. Erdurcan ve Cunedioğlu [8] çatlak içeren fonksiyonel derecelendirilmiş bir malzeme ile kaplanmış alüminyum kirişin serbest titreşim analizlerini incelemişlerdir. Daş ve Yılmaz [9] çalışmalarında çatlaklı dairesel eğri kompozit kirişlerin düzlem içi titreşimlerini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Rayleigh-Ritz metodu ile çatlakların farklı konum ve derinlikleri için incelemeler yapmışlardır. Meshram ve Pawar [10] alüminyum kiriş üzerindeki belirli konum için çatlak yapısını incelemişlerdir. Çatlak konumu, çatlak derinliğinin doğal frekans değerleri arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Analizleri ANSYS yazılımını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Toygar vd. [11] kompozit kirişlerde ara yüzeyde oluşan çatlakların burkulma yükü ve serbest

titreşim üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan çalışma deneysel ve sonlu elemanlar metodunu kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Turan ve Kahya [12] fonksiyonel olarak derecelendirilmiş kirişlerin serbest titreşim analizlerini Navier tipi çözüm yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Aslan vd. [13] birinci mertbe kayma deformasyon teorisine dayalı doğru eksenli fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin serbest titreşimini incelemişlerdir. Aslan vd. [14] çift yönlü fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden yapılan doğru eksenli kirişlerin serbest titreşimlerini frekans uzayında incelemişlerdir. Katı ve Gökdağ [15] uç kütle eklentili kirişlerin serbest titreşimini Multi-Step Diferansiyel Transform Metodu kullanarak incelemişlerdir. Sayman vd. [16] tek tip çatlak yapısının sandviç kirişler üzerindeki delemantasyon etkisini deneysel ve sonlu elemanlar metodu ile incelemişlerdir. Akbaş [17] çatlaklı fiber takviyeli kompozit kirişlerin basma kuvveti altında burkulmasını incelemiştir. Shabani ve Cunedioğlu [18] iki çatlaklı fonksiyonel derecelendirilmiş sandviç kirişlerin serbest titreşim durumunu incelemişlerdir.

Bu çalışmada ANSYS Workbench yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemiyle doğal frekans değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada bir ucu ankastre diğer ucu serbest olan kompozit sandviç kirişler ele alınmıştır. Literatürde genellikle homojen izotropik bir malzemeden yapılmış tek bir çatlak tipinin (U) farklı çatlak konumları ve farklı çatlak derinlikleri için analizler yapılmıştır. Ayrıca sandviç yapıda U çatlak yapısına ait nümerik analizlerde mevcuttur. Bu çalışmanın literatürden farkı ise farklı çatlak tiplerinin (U ve V) sandviç kirişler üzerindeki serbest titreşim etkisinin analitik ve nümerik olarak incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Çalışmada iki farklı kiriş tasarımı (3 ve 5 tabakalı) için U ve V çatlak tipinin doğal frekanslar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada farklı çatlak konumu, farklı çatlak derinliği ve farklı çatlak genişliklerinin doğal frekanslar üzerindeki etkisi incelenmiş ve yorumlanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Çatlaksız ve çatlaklı halde homojen izotrop bir kirişin serbest titreşim teorisi

Elastik homojen izotrop bir kirişin serbest titreşim durumunu kontrol eden diferansiyel ifade aşağıdaki denklemle belirtilmiştir [19].

$$EI \frac{a^4 y}{ax^4} + m \frac{a^2 y}{at^2} = 0 \quad (1)$$

Burada E elastisite modülünü, m kirişin kütleini ve I dikdörtgen kesitli kirişin atalet momentini ifade etmektedir. Denklem (1)'in çözümü değişkenlerin ayrılması metodu ile bulunabilir. Bu denklem için önerilen çözüm fonksiyonu aşağıdaki denklem ile verilmektedir [19].

$$y(x, t) = Y(x)f(t) \quad (2)$$

Denklem (2), Denklem (1)'in içine yerleştirilip, gerekli matematiksel işlemler ve ankastre kiriş sınır koşulları

uygulandıktan sonra çatlaksız halde doğal frekans ifadesi rad/s cinsinden aşağıdaki denklem ile verilmektedir [19].

$$\omega_n = (\lambda_n L)^2 \sqrt{\frac{EI}{m}} = (\lambda_n)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^2}} \quad (3)$$

Çatlaklı halde doğal frekans ifadesi aşağıdaki denklem ile verilmektedir [19].

$$\omega_{nc} = (\lambda_n)^2 \sqrt{\frac{EI_1}{\rho AL^2}} \quad (4)$$

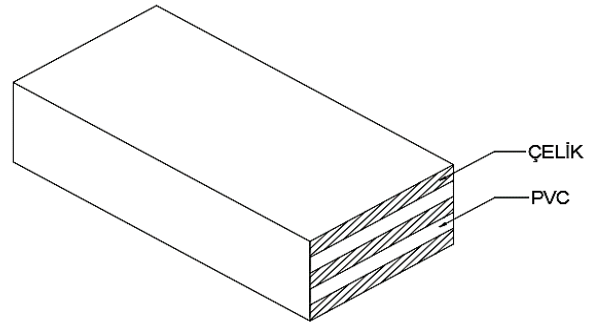
Burada I_1 çatlaklı kirişin atalet momentini, ρ kiriş yoğunluğunu, A kiriş kesit alanını ve L kiriş boyunu ifade etmektedir. $\lambda_n L$ 'nin ilk dört mod için değerleri aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir [19].

Tablo 1. $\lambda_n L$ 'nin ilk dört mod değerleri

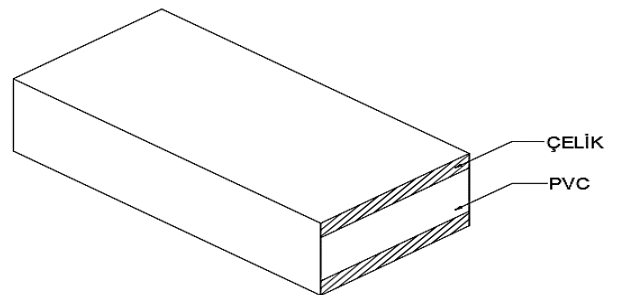
Index	$\lambda_n L$
n=1	1,8751
n=2	4,69409
n=3	7,85476
n=4	10,9955

2.2 Kompozit kirişin modellenmesi

Kompozit kirişler genellikle farklı mekanik özelliklere sahip birçok tabakanın birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu çalışmada 5 ve 3 tabakalı kompozit kirişler ele alınmıştır. Ele alınan kirişlerin malzeme kombinasyonları Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. 5 tabakalı kompozit kiriş



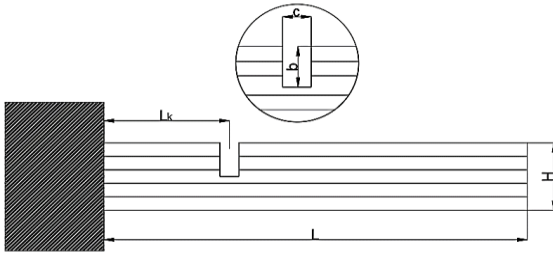
Şekil 2. 3 tabakalı kompozit kiriş

Şekil 1'de verilen 5 tabakalı kompozit kirişin orta tabakasındaki çelik malzemeyi polyvinly chloride (pvc)

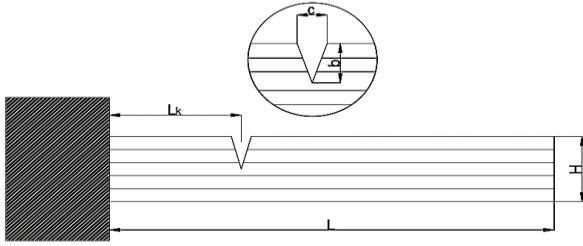
yaparak Şekil 2’de verilen 3 tabakalı kompozit kiriş elde edilmiştir. Burada Şekil 1’de belirtilen 5 tabakalı kompozit kirişin tabaka kalınlıkları eşit olup her biri 1 milimetre (mm) olmakla beraber Şekil 2’de belirtilen 3 tabakalı kompozit kirişin çekirdek kısmı 3 mm’dir.

2.3 Kompozit kiriş üzerinde çatlak modellenmesi

Çalışmada Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilen U ve V çatlak yapısı oluşturulan ankastre sandviç bir kiriş ele alınmıştır. Kiriş üzerindeki çatlak yapısının, çatlak derinliğinin, çatlak konumunun ve çatlak genişliğinin doğal frekans değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 3. 5 tabakalı kompozit kiriş U çatlak yapısı



Şekil 4. 5 tabakalı kompozit kiriş V çatlak yapısı

2.4 Kompozit kiriş modelin doğrulanması

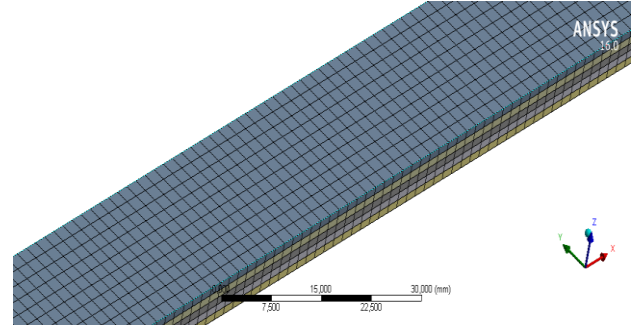
Bu çalışmada Şekil 3’te gösterilen 5 tabakalı ankastre kompozit sandviç kirişin doğal frekans değerlerinin doğrulanması için literatürde yer alan bir örnek ele alınmıştır. Kirişe ait geometrik ve malzeme özellikleri çelik için; $E_{çelik}=2,06 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, $\rho_{çelik}=7850 \text{ kg/m}^3$, $\nu_{çelik}=0,29$, pvc için; $E_{pvc}=2,41 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, $\rho_{pvc}=1300 \text{ kg/m}^3$, $\nu_{pvc}=0,3825$. Kirişe ait uzunluk $L=1000 \text{ mm}$, çatlak konumu $L_k=274 \text{ mm}$, kalınlık $H=5 \text{ mm}$, kirişin genişliği $W=20 \text{ mm}$, çatlak derinliği $b=0,4 \text{ mm}$ olarak alınmıştır [1]. Doğrulama çalışması analitik ve ANSYS paket programıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 5 tabakalı ankastre sandviç kirişin çatlaklı ve çatlaksız halde ilk dört doğal frekans değerleri

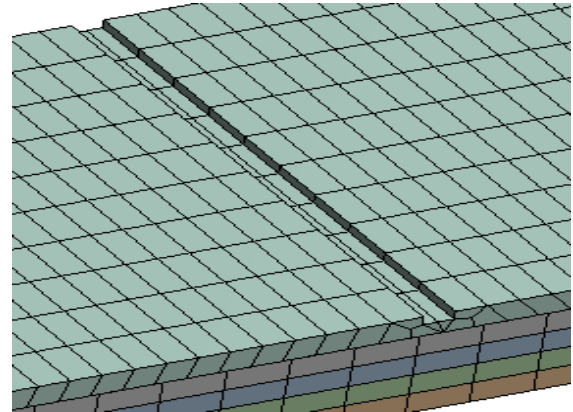
Çatlaksız		Çatlaklı	
Analitik (Hz)	ANSYS (Hz)	Analitik (Hz)	ANSYS (Hz)
4.518	4.518	4.516	4.514
28.314	28.225	28.307	28.223
79.282	78.62	79.262	78.556
155.36	152.92	155.32	152.83

Tablo 2’den görüleceği üzere analitik çözüm ile ANSYS 16.0 nümerik çözümünün uyum içerisinde olduğu görülmüştür. ANSYS sonuçlarının elde edilmesinde mesh

eleman boyutu 2 mm alınmıştır. Eleman tipi çatlaksız kiriş için quadratic yapıda olurken, çatlaklı kirişte quadratic/triangular olarak seçilmiştir. Çatlaksız kiriş için düğüm sayısı 187765 ve eleman sayısı 25000 olarak alınmıştır. Çatlaklı kiriş için ise bu değerler düğüm sayısı 225512 ve eleman sayısı 30050’dir. Çatlaklı haldeki kirişin düğüm sayısının ve eleman sayısının daha fazla olmasının nedeni ANSYS programının çatlaklı bölgeyi algılayarak daha hassas mesh yapısı oluşturmasıdır. Ankastre sandviç kirişe ait çatlaksız ve çatlaklı halde mesh yapısı Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 5. 5 tabakalı çatlaksız kompozit kirişin mesh görünümü



Şekil 6. 5 tabakalı U çatlaklı kompozit kirişin mesh görünümü

5 tabakalı kompozit kirişin U çatlak yapısına dair yakınsama çalışması Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. 5 tabakalı kompozit kirişin U çatlak yapısı için yakınsama tablosu

Mesh Boyutu (mm)	1.Doğal Frekans Hertz (Hz)	2.Doğal Frekans (Hz)	3.Doğal Frekans (Hz)
5	4.5149	28.223	78.56
4	4.5147	28.223	78.55
3	4.5147	28.223	78.56
2	4.5143	28.223	78.55
1,75	4.5143	28.223	78.55

Tablo 3’ten görüleceği üzere mesh boyutu küçüldükçe doğal frekans değerlerinin düştüğü ve mesh boyutunun 2 mm’den sonra sonuçlarda bir değişim göstermediğinden yakınsamanın 2 mm’de gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sandviç kirişin U çatlak tipinde belirtilen parametreler için

analizler gerçekleştirilerek elde edilen doğal frekans değerleri literatürle kıyaslanarak sonuçlar Tablo 4-8'de verilmiştir.

Tablo 4. 5 tabakalı kompozit kirişin 0,4 mm ve 0,6 mm çatlak derinliklerine göre doğal frekans değerleri

Mod i	$f_{i=0.4}$ Hertz (Hz) ^[1]	$f_{i=0.4}$ (Hz) Bu çalışma	$f_{i=0.6}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=0.6}$ (Hz) Bu çalışma
1	4.5035	4.5143	4.4975	4.5086
2	28.1562	28.223	28.152	28.219
3	78.3794	78.556	78.282	78.464
4	152.493	152.83	152.35	152.7
5	249.857	250.387	249.85	250.35
6	368.838	369.53	368.53	369.23
7	508.234	509.11	507.49	508.43
8	657.463	668.26	666.90	668.03
9	843.387	844.53	843.29	844.41
10	1034.58	1035.7	1033.4	1034.6

f_i: (i) değerine karşılık gelen frekans değeri

Tablo 5. 5 tabakalı kompozit kirişin 0,8 mm ve 1 mm çatlak derinliklerine göre doğal frekans değerleri

Mod i	$f_{i=0.8}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=0.8}$ (Hz) Bu çalışma	$f_{i=1}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=1}$ (Hz) Bu çalışma
1	4.487	4.5001	4.3908	4.4017
2	28.145	25.213	28.073	28.133
3	78.108	78.322	76.537	76.687
4	152.12	152.52	150.09	150.48
5	249.86	250.38	249.85	250.37
6	368	368.77	363.27	363.6
7	506.22	507.41	495.98	497
8	666.41	667.69	662.63	664.29
9	843.12	844.25	841.72	842.21
10	1031.3	1032.9	1013.9	1014.3

Tablo 6. 5 tabakalı kompozit kirişin 1,4 mm ve 2 mm çatlak derinliklerine göre doğal frekans değerleri

Mod i	$f_{i=1.4}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=1.4}$ (Hz) Bu çalışma	$f_{i=2}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=2}$ (Hz) Bu çalışma
1	4.3611	4.3716	4.3475	4.3588
2	28.050	28.109	28.040	28.099
3	76.074	76.212	75.868	76.014
4	149.51	149.93	149.27	149.7
5	249.84	250.38	249.83	250.37
6	361.89	362.15	361.28	361.53
7	493.31	494.37	492.18	493.3
8	661.67	663.47	661.26	663.09
9	841.28	841.72	841.05	841.39
10	1009.2	1009.5	1007.1	1007.4

Tablo 7. 5 tabakalı kompozit kirişin 2,2 mm ve 2,4 mm çatlak derinliklerine göre doğal frekans değerleri

Mod i	$f_{i=2.2}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=2.2}$ (Hz) Bu çalışma	$f_{i=2.4}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=2.4}$ (Hz) Bu çalışma
1	4.3374	4.3488	4.3155	4.3258
2	28.033	28.092	28.018	28.074
3	75.719	75.865	75.394	75.521
4	149.09	149.53	148.71	149.14
5	249.83	250.37	249.83	250.37
6	360.84	361.07	359.88	360.01
7	491.37	492.51	489.64	490.74
8	660.97	662.85	660.37	662.29
9	840.92	841.24	840.64	840.83
10	1005.5	1005.8	1002.1	1002.2

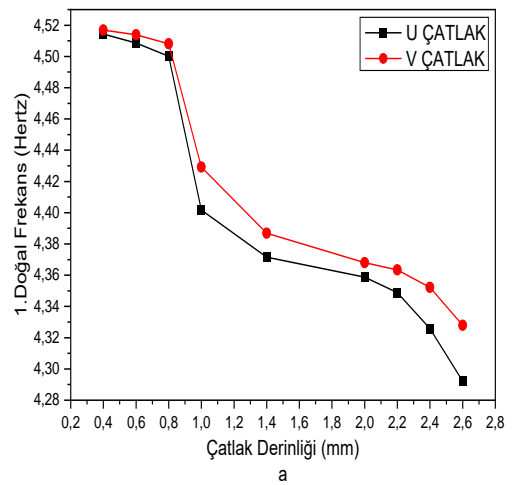
Tablo 8. 5 tabakalı kompozit kirişin 2,6 mm çatlak derinliklerine göre doğal frekans değerleri

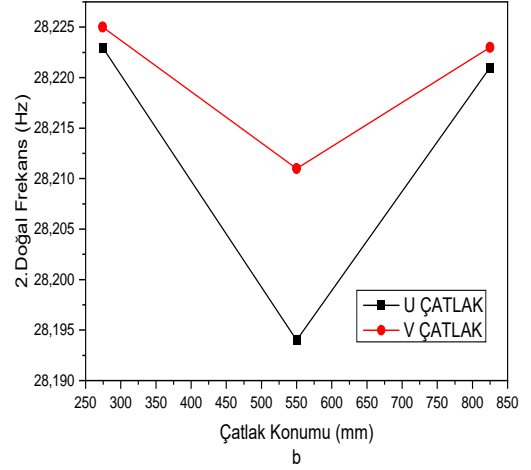
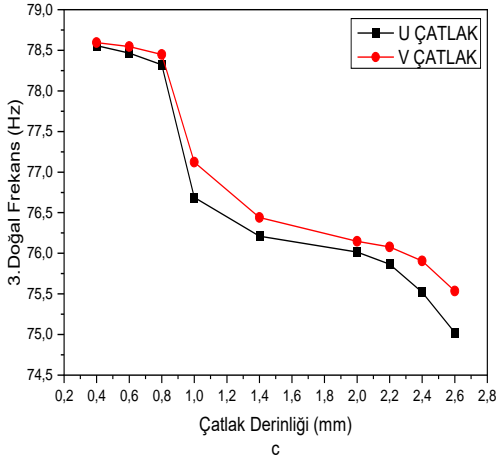
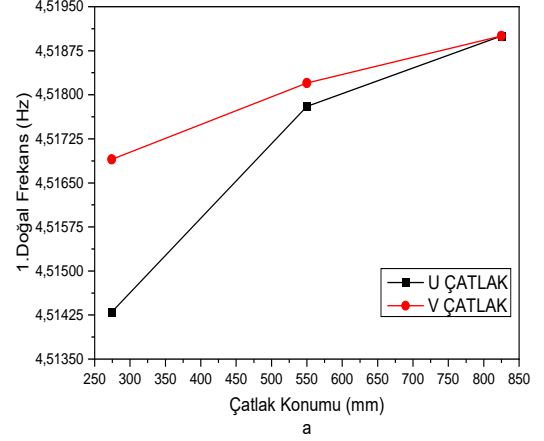
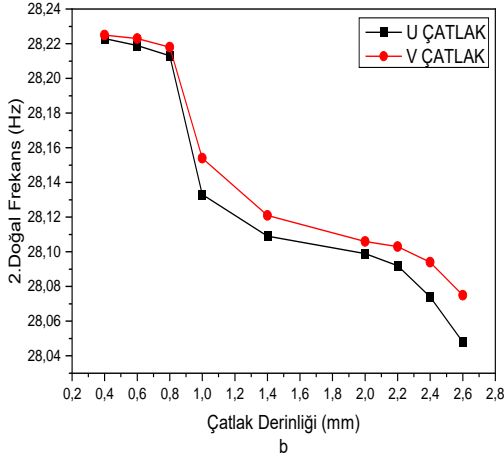
Mod i	$f_{i=2.6}$ (Hz) ^[1]	$f_{i=2.6}$ (Hz) Bu çalışma
1	4.2794	4.2921
2	27.992	28.048
3	74.8667	75.022
4	148.106	148.58
5	249.831	250.37
6	358.351	358.51
7	486.988	488.3
8	659.444	661.51
9	840.18	840.27
10	996.663	997.04

Tablo 4-8'den görüleceği üzere çatlak derinliğine ve mod sayısına karşılık gelen doğal frekans değerleri literatür ile uyumludur. Ayrıca artan çatlak derinliği ile birlikte doğal frekans değerlerinde düşüşler meydana geldiği gözükülmektedir. Denklem (4) incelendiğinde doğal frekans değerlerinin EI parametrelerine bağlı olduğu görülmektedir. Cisimde oluşan çatlakla birlikte I₁ değerlerinde bir azalma meydana geleceğinden dolayı doğal frekans değerlerinde bir düşüş meydana gelmektedir.

3 Bulgular ve tartışma

Bu çalışmada bir ucu ankastre diğer ucu serbest olan Şekil 1 ve Şekil 2'deki gibi 5 ve 3 tabakalı kompozit kiriş modelleri ele alınmıştır. Çalışmada kompozit sandviç kirişlerin serbest titreşim analizi incelenmiştir. Analizler doğrulama kısmında ele alınan malzeme özellikleri ve geometrik boyutlar için yapılmıştır. Analizlerde tüm tasarımlar için mesh boyutu 2 mm olarak alınmıştır. Çalışmada literatürden farklı olarak V çatlak yapısı eklenerek U çatlak yapısı ile karşılaştırılmıştır. Literatürde yapılan çalışma 5 tabaka olmakla birlikte, 3 tabakalı bir yapı oluşturularak çelik-pvc malzeme kombinasyonundan oluşan kompozit kirişin serbest titreşim durumu incelenmiştir. Analizler U ve V çatlak yapısının farklı konumlarda, farklı çatlak genişliklerinde ve farklı çatlak derinliklerinde gerçekleştirilerek doğal frekans değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.



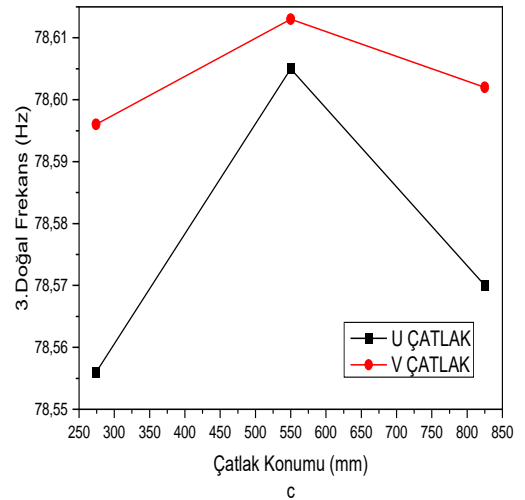


Şekil 7. $L_k=274$ mm için 5 tabakalı kompozit kirişin doğal frekans değerlerinin çatlak tipine ve derinliğine göre değişimi

Şekil 7'de ilk üç doğal frekansın $L_k=274$ mm için 5 tabakalı kompozit kirişin doğal frekans değerlerinin çatlak tipine ve derinliğine göre değişimi görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere çatlak derinliği arttıkça U ve V çatlak yapısının frekans değerlerinde düşüşler meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum çatlak derinliğinin artmasıyla birlikte kirişin atalet momentinde azalmalara sebep olduğundan kirişin eğilme rijitliğindeki azalma ile izah edilebilir. Ayrıca V çatlak yapısının doğal frekans değerlerinin U çatlak yapısına nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum kirişten boşaltılan malzeme hacmi dolayısıyla kiriş kütlelerini etkilemesinden kaynaklanmaktadır.

Çatlak derinliği $b=0,4$ mm için 5 tabakalı kompozit kirişlerin çatlak konumlarına göre doğal frekans değerlerinin değişimi Şekil 8'de verilmiştir.

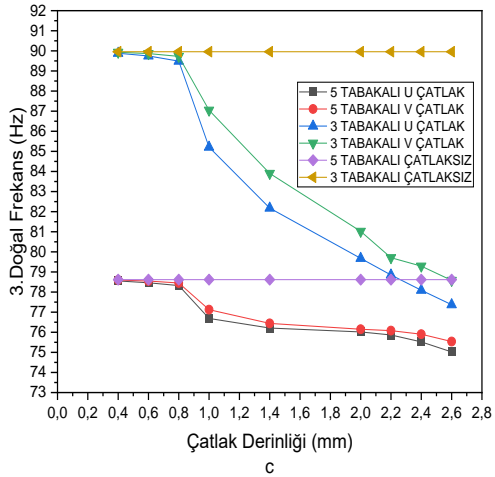
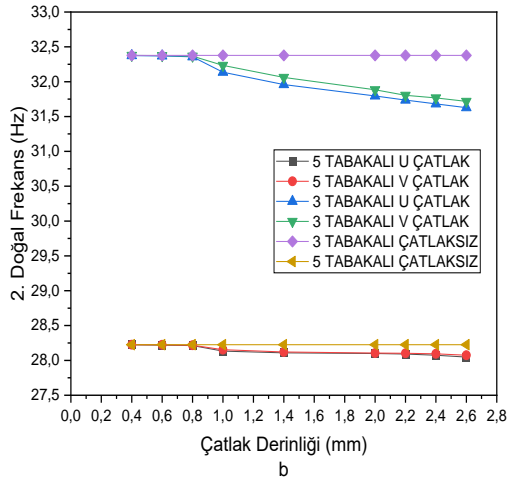
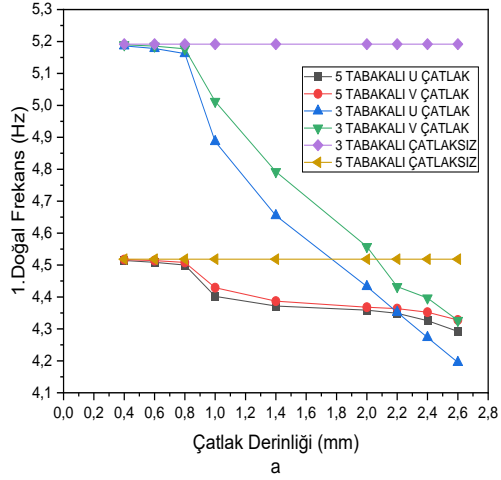
Şekil 8'de görülen 1. doğal frekans değerleri için, iki çatlak tipinde de çatlak konumu serbest uca doğru giderken frekans değerlerinde artışlar görülmüştür. Ayrıca U ve V çatlak tipi için çatlak konumu serbest uca doğru giderken doğal frekans değerleri arasındaki farkın giderek azaldığı görülmüştür.



Şekil 8. $b=0,4$ mm için 5 tabakalı kompozit kirişin doğal frekans değerlerinin çatlak tipine ve konumuna göre değişimi

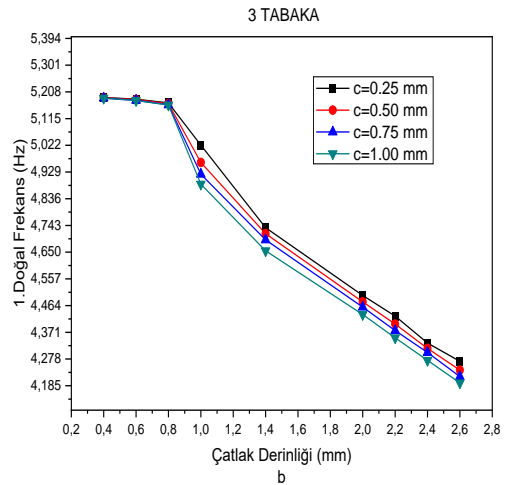
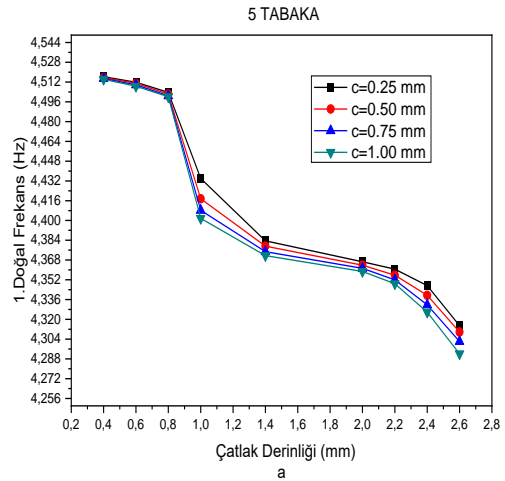
2. doğal frekans değerlerinde ise çatlak konumu 550 mm'ye kadar olan kısımda frekans değerlerinde bir azalma ve bu değerden sonraki frekans değerlerinde bir artış

gözlemlenmiştir. 3. doğal frekans değerlerinde ise 2. doğal frekans değerlerinin tersi bir durum görülmüştür.

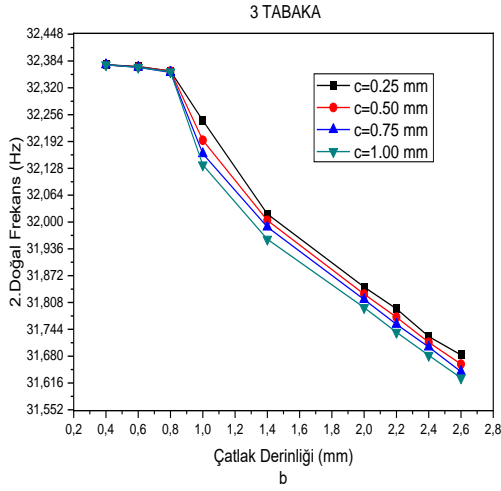
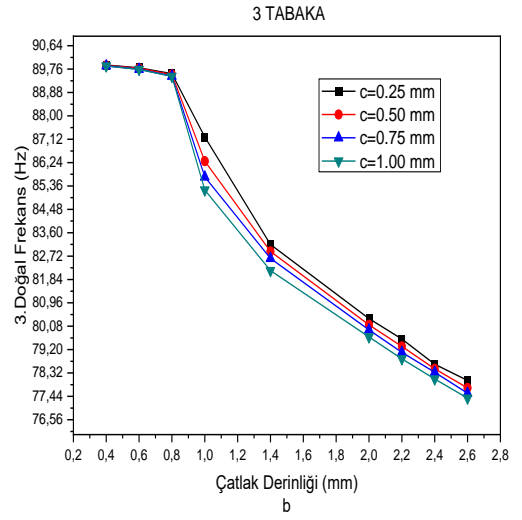
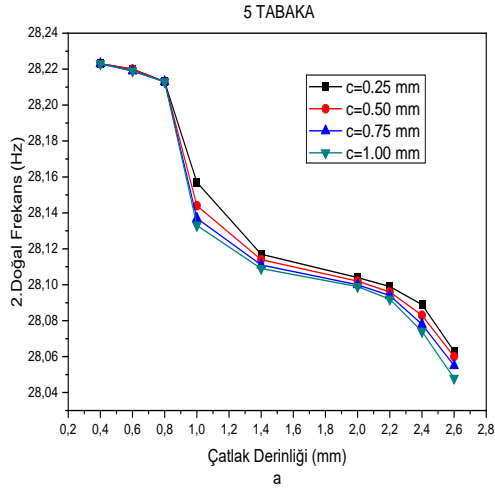


Şekil 9. $L_k=274$ mm için 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerin doğal frekans değerlerinin çatlak tipine ve çatlak derinliğine göre değişimi

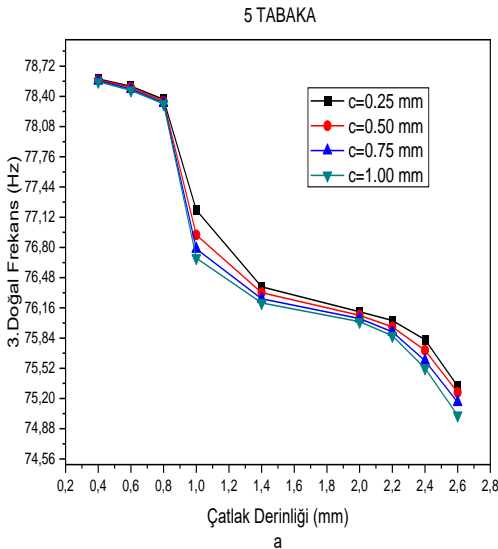
Şekil 9'da $L_k=274$ mm için 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerin çatlaksız ve çatlıklı halde çatlak tiplerine ve çatlak derinliklerine göre ilk üç doğal frekansın değişimi görülmektedir. Genel olarak 3 tabakalı kompozit kirişlerin doğal frekans değerlerinin 5 tabakalı kompozit kiriş yapısına nazaran doğal frekans değerlerinden daha yüksek olduğu ayrıca 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerin çatlak derinliğinin artmasıyla doğal frekans değerlerinde azalmalar olduğu görülmüştür. Ancak, Şekil 9a'da 3 tabakalı U çatlak tipinin 1. doğal frekans değerleri yaklaşık olarak çatlak derinliği 2,2 mm'den sonra 5 tabakalı kompozit kirişin frekans değerlerinin altına düştüğü görülmüştür. Şekil 9'dan da görüleceği üzere 3 tabakalı sandviç kirişlerin doğal frekans değerlerinin 5 tabakalı yapıya göre daha yüksek çıkmasının sebebi rijitlik ile izah edilebilir. 5 tabakalı kompozit yapının eğilme rijitliği (EI) ve yoğunluğu (ρ) 3 tabakalıya nazaran daha yüksek çıkmasına karşın, 3 tabakalı yapının eğilme rijitliğinin yoğunluğa oranı 5 tabakalı yapıya nazaran daha yüksek çıktığından doğal frekans değerleri daha yüksek çıkmaktadır. Bu durum Denklem (3) ve Denklem (4)'ten de anlaşılmaktadır.



Şekil 10. $L_k=274$ mm için 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerin 1. doğal frekans değerlerinin çatlak genişliğine ve derinliğine göre değişimi



Şekil 11. $L_k=274$ mm için 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerin 2. doğal frekans değerlerinin çatlak genişliğine ve derinliğine göre değişimi



Şekil 12. $L_k=274$ mm için 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerin 3. doğal frekans değerlerinin çatlak genişliğine ve derinliğine göre değişimi

Şekil 10, 11 ve 12' de $L_k=274$ mm için U çatlak yapısının ilk üç doğal frekansın çatlak genişliğinin çatlak derinliğine göre değişimi 3 ve 5 tabakalı kiriş için görülmektedir. Şekillerden görüleceği üzere 3 ve 5 tabakalı kompozit kiriş yapılarında çatlak genişliğinin artmasıyla birlikte doğal frekans değerlerinde azalmalar görülürken çatlak derinliğinin artmasıyla doğal frekans değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. V çatlak yapısı içinde aynı seyir gözlemlenmiştir. Ayrıca 3 tabakalı kompozit kirişin frekans değerlerinin 5 tabakalı kompozit kirişe göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

4 Sonuçlar

Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çelik-pvc kombinasyonu ile tasarlanan 3 ve 5 tabakalı kompozit kirişlerde U çatlak ve V çatlak yapısının çatlak derinliklerine, çatlak konumlarına ve çatlak genişliklerine göre serbest titreşimi incelenmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Kompozit kirişlerde çelik-pvc malzeme kombinasyonu ile elde edilen 3 ve 5 tabakalı kompozit kiriş yapılarında 3 tabakalı yapının doğal frekans değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- V çatlak yapısının U çatlak yapısına nazaran doğal frekans değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki çatlak tipinde de çatlak genişliğinin artmasıyla doğal frekans değerlerinde düşüşler olduğu tespit edilmiştir.
- Her iki çatlak tipi için çatlak konumunun serbest uca doğru kaydırılırken 1. doğal frekans değerlerinde sürekli bir artış meydana gelirken, 2. ve 3. doğal frekans değerlerinde artışlar ve düşüşler görülmüştür.
- Her iki çatlak tipi için çatlak derinliğinin artmasıyla birlikte doğal frekans değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir.
- 3 tabakalı sandviç kiriş yapısının 5 tabakalı kiriş yapısına göre daha rijit bir yapı olduğu tespit edilmiştir.

- Her iki çatlak tipinde boşaltılan kütle miktarı kirişin doğal frekans değerini etkilediği tespit edilmiştir.
- Sandviç kiriş tasarımları için tabakalarda değişiklikler yapılarak arzu edilen frekans değerleri elde edilebilir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %7

Kaynaklar

- [1] I. Negru, G. R. Gillich, Z. I. Praisach, M. Tufoi and N. Gillich, Natural frequency changes due to damage in composite beams. *Journal of Physics Conference Series*, 628 (1), 012091, 2015. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/628/1/012091>.
- [2] M. Tam, Z. Yang, S. Zhao and J. Yang, Vibration and buckling characteristics of functionally graded graphene nanoplatelets reinforced composite beams with open edge cracks. *Materials*, 12 (9), 1412, 2019. <https://doi.org/10.3390/ma12091412>.
- [3] Y. Cunedioğlu and S. Shabani, Free vibration analysis of a single edge cracked symmetric functionally graded stepped beams. *Advances in Structural Engineering*, 23, 16, 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1177/1369433220939214>.
- [4] A. Shahdin, J. Morlier, L. Mezeix, C. Bouvet and Y. Gourinat, Evaluation of the impact resistance of various composite sandwich beams by vibration tests. *Shock and Vibration*, 18, 789-805, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/259295>.
- [5] S. Shabani and Y. Cunedioğlu, Free vibration analysis of cracked functionally graded non-uniform beams. 7, 015707, 2020. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6ad1>.
- [6] S. Samborski, J. Wiczorkiewicz and R. Rusinek, A numerical-experimental study on damaged beams dynamics. *Eksploatacja i Niezawodność- Maintenance and Reliability*, 17 (4), 624-631, 2015. <https://doi.org/10.17531/ein.2015.4.20>.
- [7] G. R. Gillich, Z. I. Praisach, M. A. Wahab and O. Vasile, Localization of transversal cracks in sandwich beams and evaluation of their severity. *Shock and Vibration*, 2014 (3-4), 607125, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/607125>.
- [8] E. F. Erdurcan and Y. Cunedioğlu, Free vibration analysis of an aluminum beam coated with imperfect and damaged functionally graded material. *Archive of Applied Mechanics* 91, 1729-1737, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00419-020-01850-9>.
- [9] M. T. Das and A. Yılmaz, Vibration analysis of a cracked circular curved beams. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (3), 783-791, 2018. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416380>.
- [10] N. A. Meshram and V. S. Pawar, Analysis of crack detection of a cantilever beam using finite element analysis. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 4 (4), 713-718, 2015. <https://doi.org/10.17577/ijertv4is041005>.
- [11] M. E. Toygar, Z. Kırıl, O. Sayman, Y. Arman and M. Özen, Effect of interface crack on lateral buckling behavior and free vibration response of a sandwich composite beam. *Journal of Composite Materials*, 47 (15), 1843-1851, 2012. <https://doi.org/10.1177/0021998312451611>.
- [12] M. Turan ve V. Kahya, Fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin serbest titreşim analizi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 119-130, 2018. <https://doi.org/10.31466/kfbd.453833>.
- [13] T. A. Aslan, A. R. Noori ve B. Temel, Birinci mertebe kayma deformasyon teorisine dayalı FD düz eksenli kirişlerin serbest titreşim analizi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (4), 21-28, 2019. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.702032>.
- [14] T. A. Aslan, A. R. Noori ve B. Temel, Çift yönlü fonksiyonel derecelenmiş malzemeli Timoshenko kirişlerinin serbest titreşim analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (3), 30-36, 2019. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.621183>.
- [15] H. D. Katı ve H. Gökdağ, Multi-step diferansiyel transform metodu ile uç kütle eklentili kirişlerin serbest titreşim analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34 (4), 1679-1693, 2019. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.571480>.
- [16] O. Sayman, M. E. Toygar, Z. Kırıl and B. G. Kırıl, Effect of the root crack on natural frequencies of sandwich composite beams, *Pamukkale University Journal of Engineering Science*, 19 (7), 298-302, 2013. <https://doi.org/10.5505/pajes.2013.96168>.
- [17] Ş. D. Akbaş, Post-buckling analysis of a fiber reinforced composite beam with crack, *Engineering Fracture Mechanics*, 212 (1), 70-80, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.03.007>.
- [18] S. Shabani and Y. Cunedioğlu, Free vibration analysis of functionally graded beams with cracks, *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 6 (4), 908-918, 2020. <https://doi.org/10.22055/jacm.2019.30065.1672>.
- [19] C. Boga, Numerical and theoretical analysis of free vibration of a multi-cracked cantilever beam with rectangular cross section, *International Journal of Scientific and Technological Research*, 5 (3), 2019. <https://doi.org/10.7176/jstr/5-3-20>.

