

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>

## ÇATLAK DERİNLİĞİNİN VE FİBER AÇISININ KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT KİRİŞİN TİTREŞİM DAVRANIŞINA ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

DETERMINING THE EFFECT OF CRACK DEPTH AND FIBER ANGLE ON VIBRATIONAL BEHAVIOR OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITE BEAM WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS METHOD

Yazarlar (Authors): Berkay Ergene \*

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Ergene B. "Çatlak Derinliğinin ve Fiber Açısının Karbon Fiber Takviyeli Polimer Kompozit Kirişin Titreşim Davranışına Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi Yöntemi ile Belirlenmesi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 5(2): 120-129, (2021).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.931530

Araştırma Makale/ Research Article

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

# ÇATLAK DERİNLİĞİNİN VE FİBER AÇISININ KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİT KİRİŞİN TİTREŞİM DAVRANIŞINA ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Berkay ERGENE<sup>a</sup> 

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

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

(Geliş/Received: 02.05.2021; Düzeltme/Revised: 12.06.2021; Kabul/Accepted: 30.06.2021)

## ÖZ

Günümüzde kompozit malzemeler sırasıyla fiber ve matris malzemesinin sağladığı yüksek dayanım ve hafiflikten dolayı uzay-havacılık, otomotiv, savunma, denizcilik gibi bir çok farklı alanda tercih edilmektedirler. Kompozit malzemeden üretilen yapılarda meydana gelen çatlakların yapının mekanik ve titreşim özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, % 50 karbon fiber takviyeli polimer (KFTP) kompozit bir kirişte çatlak bulunup bulunmaması, bulunması durumunda ise 1,2,3,4 ve 5 mm derinliğindeki çatlağın ilgili kirişin titreşim davranışlarını nasıl etkilediği Ansys APDL programı kullanılarak sonlu elemanlar analizi yöntemiyle incelenmiştir. Farklı çatlak derinliğine sahip ve çatlaksız KFTP kompozit kirişler Ansys APDL programında modellenmiştir. Ayrıca, malzeme özellikleri olarak da kompozit malzemelerin karışım kuralı eşitlikleri ile belirlenen malzeme özellikleri sonlu eleman analizlerinde atanmıştır. 200 mm uzunluğunda, 20 mm genişliğinde ve aynı fiber açlarına sahip her biri 0,5 mm kalınlıkta 6 katmandan oluşan toplam kalınlığı 3 mm olan KFTP kompozit kirişler sol kenarından ankastre mesnetlenmiş, sağ kenarı ise serbest uç olarak bırakılmıştır. Ek olarak, 6 katmandan oluşan KFTP kompozit kirişin fiber açıları da 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90° olacak şekilde değiştirilerek, fiber açısının çatlaklı ve çatlaksız kirişin doğal frekansına olan etkileri de irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, fiber açısının ve çatlak derinliğinin KFTP kompozit kirişlerin doğal frekans değerlerini genel olarak % 10 ile % 20 aralığında değiştirebildiği, doğal frekansların değişiminde çatlak derinliğine nazaran fiber açısının daha etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çatlak. Fiber açısı. Kompozit malzeme. Titreşim. Sonlu elemanlar analizi.

## DETERMINING THE EFFECT OF CRACK DEPTH AND FIBER ANGLE ON VIBRATIONAL BEHAVIOR OF CARBON FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITE BEAM WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS METHOD

### ABSTRACT

Today, composite materials are preferred in many different areas such as aerospace, automotive, defense, and marine, due to the high strength and lightness provided by fiber and matrix materials, respectively. It is known that cracks that occur in structures made of composite materials affect the mechanical and vibration properties of the structure. In this study, whether there is a crack in a 50% carbon fiber reinforced polymer (CFRP) composite beam, and if it does, how the 1, 2, 3, 4 and, 5 mm deep crack affects the vibration behavior of the beam was investigated using the Ansys APDL finite element analysis program. CFRP composite beams with different crack depths and without cracks were modeled in the Ansys APDL program. Besides, the material properties of the composite materials determined by the mixing rule equations were assigned in finite element analyzes. CFRP composite beams with 200 mm length, 20 mm width total thickness of 3 mm which consisting of 6 layers with 0,5 mm thickness and same fiber angle was fixed from left end and the right end of the beam kept free. In

addition, the fiber angles of the 6-layer CFRP composite beam were changed to 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90°, and the effects of the fiber angle on the natural frequency of the cracked and uncracked beam were also examined. According to the results obtained, it has been observed that the fiber angle and crack depth can change the natural frequency values of CFRP composite beams generally between 10% and 20%, and the fiber angle is more effective in the change of natural frequencies compared to the crack depth.

**Keywords:** Crack. Fiber angle. Composite material. Vibration. Finite element analysis.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, teknolojik gelişmelerin yanı sıra imalat metotlarının çeşitliliğinin artışı, beraberinde kompozit malzemeler gibi fiber/matris oranı değiştirilerek farklı mekanik özelliklerin elde edilebildiği malzeme yelpazesini genişletmiştir. KFTP kompozit malzemeler de matris malzemesi polimerin getirmiş olduğu hafiflikle birlikte fiber malzemesi karbonun sağlamış olduğu yüksek dayanım sayesinde konstrüksiyon, otomotiv, uzay-uçak, savunma ve spor ekipmanları gibi bir çok farklı alanda kullanılmaktadırlar [1-3]. 2018 yılına dek yıllık kullanım hacmi ortalama % 12,5 oranında artan KFTP kompozitlerin düşük yoğunluk, hafiflik, yüksek korozyon direnci ve geliştirilmiş yorulma performanslarından dolayı konvansiyonel metallere yerini alabileceği öngörülmektedir [4-7]. KFTP kompozitlerin kullanım alanlarında zaman zaman önemli düzeyde titreşime maruz kaldıkları bilinmektedir. Bu bağlamda, KFTP kompozitlerde meydana gelebilecek çatlak oluşumu ve fiber ile matrisin düzgün bir şekilde yapışmasının sağlanamaması, ilgili malzemeden üretilen yapıların titreşim davranışlarını da etkileyecektir [8]. KFTP kompozitlerde çatlak oluşumu ve fiber açısının doğal frekansa etkisi deneysel yöntemlerin maliyetli ve zaman alıcı olmasından dolayı, literatürdeki çeşitli çalışmalarda kullanıldığı üzere sonlu elemanlar analizi yöntemi ile öngörülebilmektedir [9-11].

Kompozit malzemelerin ve çatlaklı kompozit malzemelerin doğal frekansları üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; Tita vd. [12] fiber katkılı kompozit kirişlerdeki katman dizilişinin ve fiber açısının, kirişin doğal frekansına olan etkisini incelemişler ve her iki parametrenin de son derece etkili olduğunu vurgulamışlardır. Atlıhan ve Ergene [13] de delaminasyon ve fiber açısının katmanlı kompozit kirişin titreşim davranışını nasıl etkilediğini analitik ve nümerik olarak incelemişler ve fiber açısı 0° ile 59° arasında iken doğal frekans değerlerinin giderek azaldığı, kritik değer olan 59°den sonra ise artış gözlemlendiği ifade etmişlerdir. Norman vd. [14] fiber açılarının ve sınır koşullarının kompozit kirişlerin doğal frekanslarını doğrudan etkilediğini ve mod sayısının artmasıyla birlikte doğal frekans değerlerinin de artış gösterdiğini rapor etmişlerdir.

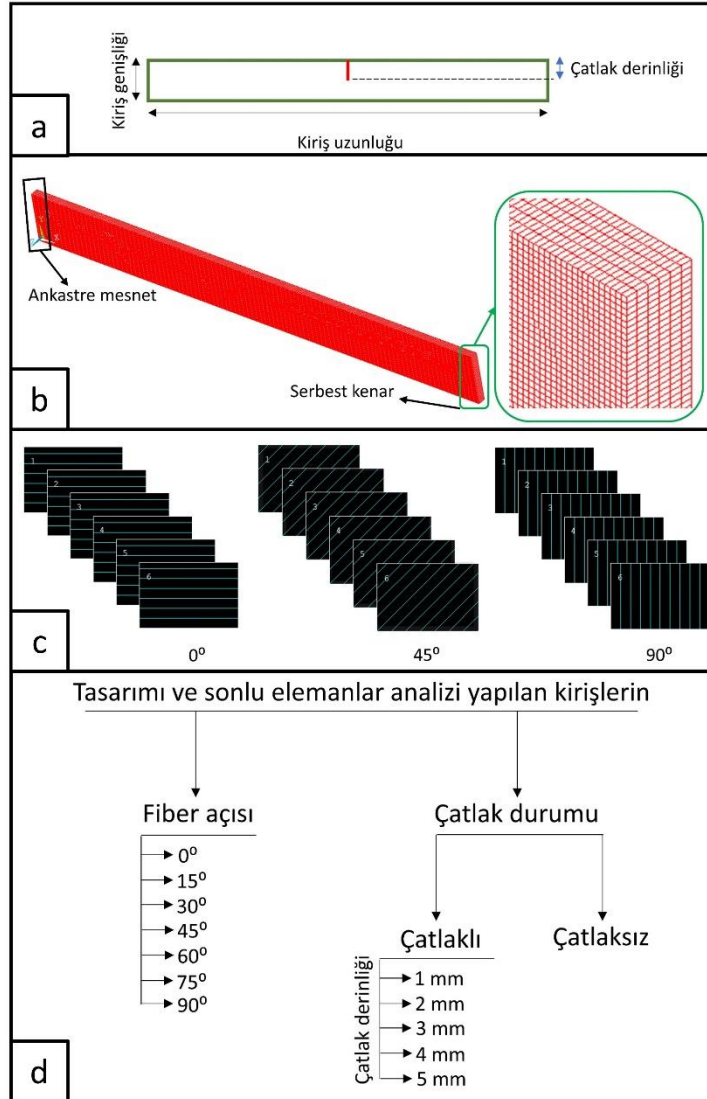
Bir başka çalışmada ise, Ghodke vd. [15] sonlu elemanlar analizi yaptıkları çalışmada, çelik kiriş üzerindeki bir çatlağın derinliğinin artmasıyla birlikte doğal frekans değerlerinin düştüğünü belirtmişlerdir. İlgili çalışmadaki çatlak derinlikleri 3,6,9,12 ve 15 mm olarak uygulanmıştır. Ayrıca, Al-Waily [16] de farklı malzemelere sahip kirişlerde çatlak boyutunun ve lokasyonunun ilgili kirişin doğal frekansına etkisini araştırmışlardır. Elde ettikleri bulgulara göre, çatlak derinliğinin artmasıyla birlikte kirişin doğal frekans değerleri azalış göstermekte ve çatlağın, kirişin kenarları yerine tam ortada bulunması durumunda daha düşük doğal frekans değerleri gözlemlenmiştir. Jena vd. [17] de cam fiber takviyeli polimer kompozit malzemeli kirişlerde çatlak lokasyonunun, çatlak derinliğinin ve fiber açısının kirişin doğal frekansına ve mod şekillerine etkisini sonlu elemanlar analizi ve analitik olarak incelemişler ve çatlak derinliğinin artmasıyla birlikte kirişin rijitliği azaldığından dolayı doğal frekans değerinin de azaldığını belirtmişlerdir. Son olarak, Daş ve Yılmaz [18] çelik ve kompozit malzemeden yapılmış olan çatlaklı dairesel eğri kirişlerin titreşim davranışlarını Ansys sonlu elemanlar analizi programı ile incelemiş ve çatlak derinliğinin arttıkça doğal frekans değerlerinin azaldığını rapor etmişlerdir.

Bu çalışmada ise, % 50 karbon fiber takviyeli epoksi matrisli katman kalınlığı 0,5 mm olan ve 6 adet aynı fiber açısına sahip katmandan oluşan kompozit bir kirişte çatlak bulunup bulunmaması durumunun ve çatlak bulunması durumunda, çatlak derinliğinin ilgili kirişin Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 doğal frekans değerlerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, çatlak derinliğinin yanı sıra, 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75° ve 90°

fiber açısının hem çatlaklı hem de çatlaksız kompozit kirişlerin doğal frekansına etkisi de araştırılan bir diğer değişken olmuştur.

## 2. MATERYAL VE METOT

Şekil 1a'da Ansys APDL programında tasarlanan kirişlerin ve ihtiva ettikleri çatlakların boyutları, Şekil 1b'de sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmek amacıyla kirişe uygulanan sınır koşulları ve ağ örgüsü görünümü, Şekil 1c'de ise aynı fiber yönlerine ve 0,5 mm kalınlığa sahip olan 6 katmanın çeşitli fiber yönlerindeki görünümü verilmiştir. Şekil 1a'da gösterilen kirişin uzunluğu 200 mm, genişliği 20 mm ve kalınlığı ise 3 mm'dir. Kirişlerdeki katmanların fiber yönleri  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  ve  $90^\circ$  olarak değişecek şekilde planlanırken, bir diğer değişken durum ise kirişlerin çatlığa sahip olup olmaması, ve son olarak da çatlığa sahip olan kirişlerin çatlak derinliklerinin 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm ve 5 mm olarak değişimidir. Sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilirken kompozit malzemedeki katmanları tanımlayabilmek amacıyla Shell 181 kabuk (shell) eleman tipi tercih edilmiştir. Ağ örgü boyutu olarak ise, 0,5 mm kalınlığa sahip her bir katmanı iki eşit parçaya bölebilmek amacıyla 0,25 mm kullanılmıştır. Sınır koşulu olarak kirişin sol kenarı ankastre mesnetlenmiştir (Şekil 1b). Ayrıca, modal analiz kısmında Block Lancos genişletilmiş 10 mod ile çözüm yapılmış olup, toplamda 42 adet sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Son olarak Şekil 1d'de ise tasarımı ve sonlu elemanlar analizi yapılan kirişlerin özellikleri genel hatlarıyla özetlenmiştir.



**Şekil 1.** Modellenen kiriş ve bazı parametrelerin gösterimi, a) modellenen kiriş ve çatlak boyutları, b) kiriş üzerinde sınır koşulu ve ağ örgüsünün gösterimi, c) kirişi oluşturan 6 katmandaki fiber yönlerinin gösterimi. d) tasarımı ve sonlu elemanlar analizi yapılan kirişlerin özellikleri

Çizelge 1’de sonlu elemanlar analizi sırasında karbon fiber takviyeli polimer kompozit için kullanılacak malzeme verisinin elde edildiği karbon fiber ve epoksi malzemenin özellikleri verilmiştir [19].

**Çizelge 1.** Kompozit malzemeyi oluşturan fiber ve matris bileşenlerinin malzeme özellikleri

	Elastisite Modülü (GPa)	Kayma Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Karbon fiber	220	15	0.2	1.76
Epoksi	5	1.85	0.3	1.28

Çizelge 1’deki malzeme özellikleri, Eşitlik 1, Eşitlik 2, Eşitlik 3 ve Eşitlik 4’teki kompozit malzemelerin karışım kuralı denklemlerinde [20] yerlerine konularak % 50 karbon fiber % 50 epoksi içeren bir kompozit malzemenin verisi Çizelge 2’de verilmiş ve sonlu elemanlar analizi sırasında ilgili kiriş yapı için bu malzeme değerleri kullanılmıştır.

$$E_x = E_f V_f + E_m V_m \quad (1)$$

$$E_y = \frac{E_m E_f}{V_f E_m + V_m E_f} \quad (2)$$

$$\nu_{xy} = \nu_m V_m + \nu_f V_f \quad (3)$$

$$G_{xy} = \frac{G_m G_f}{V_m G_f + V_f G_m} \quad (4)$$

$$\frac{\nu_{xy}}{E_x} = \frac{\nu_{yx}}{E_y} \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde  $E_x$  ve  $E_y$  oluşan kompozit malzemenin x ve y yönlerindeki elastisite modül değerlerini,  $G_{xy}$  kayma modül değerini,  $\nu_{xy}$  Poisson oranı değerini ifade etmektedir.  $E_f$ ,  $V_f$ ,  $\nu_f$  ve  $E_m$ ,  $V_m$ ,  $\nu_m$  ise sırasıyla kompoziti oluşturan fiber ve matris malzemenin elastisite modül, yüzdelik hacim oranı ve Poisson oranını temsil etmektedir.

**Çizelge 2.** Sonlu elemanlar analizinde kullanılan kompozit malzeme özellikleri

	$E_x$ (GPa)	$E_y$ (GPa)	$E_z$ (GPa)	$\nu_{xy}$	$\nu_{xz}$	$\nu_{yz}$	$G_{xy}$ (GPa)	$G_{xz}$ (GPa)	$G_{yz}$ (GPa)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
Karbon-fiber	112.5	9.77	9.77	0.25	0.02	0.02	3.29	3.29	3.29	1.52

### 3. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ BULGULARI

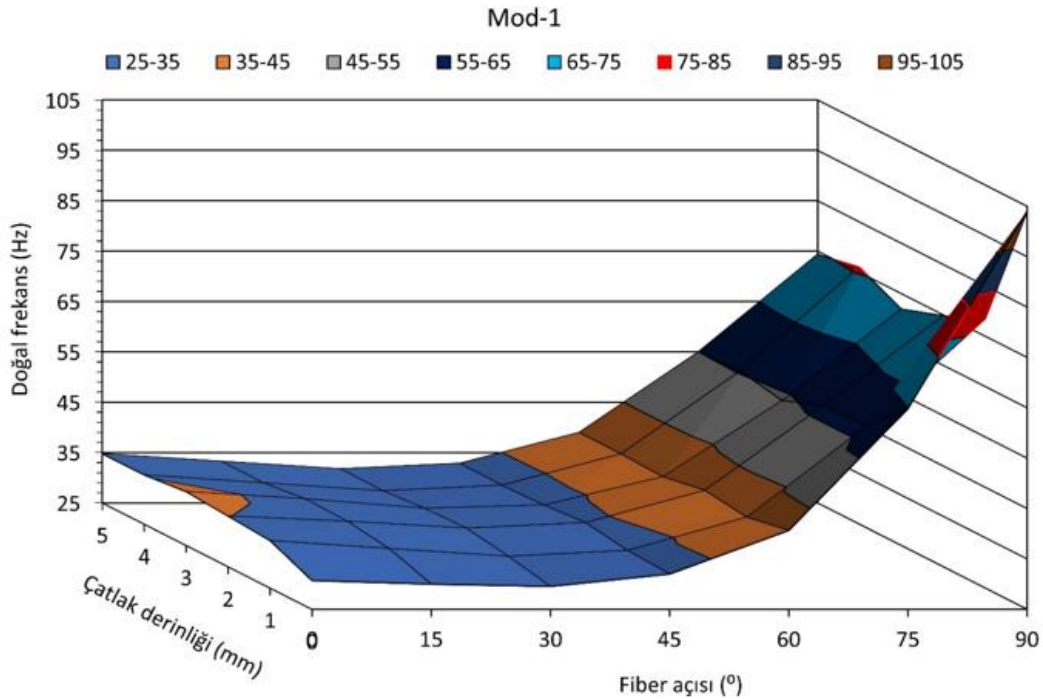
Yapılan sonlu elemanlar analizleri neticesinde kirişte çatlak olup olmaması durumunda, eğer varsa çatlak derinliğinin etkisinin yanı sıra, kirişi oluşturan katmanlardaki fiber açılarının ilgili kirişin doğal frekanslarına etkisi Mod 1, Mod 2 ve Mod 3 için incelenmiştir. Çizelge 3’te Mod 1 için kirişlerin çatlak derinliklerine ve fiber açılara göre doğal frekans değerleri paylaşılmıştır. Ayrıca, Çizelge 3’te kirişin Mod 1’deki şekli de görsel olarak sunulmuştur. Beyaz renkle gösterim kirişin ilk halini, kırmızı ile gösterim ise kirişin Mod 1’deki şeklini belirtmektedir. Elde edilen görselde kompozit kiriş eğilme davranışında bulunmuş ve ilgili sonuç literatürdeki diğer Mod 1 görselleri ile örtüşmektedir [21-23].

Çizelge 3’te verilen bu değerlerin daha net anlaşılabilmesi amacıyla 3 boyutlu grafik olarak Şekil 2’de çatlak derinliği ve fiber açısına bağlı olarak değişen doğal frekans değerleri gösterilmiştir. Çizelge 3 ve Şekil 2 birlikte incelendiğinde, tüm çatlak derinliklerinde fiber açısı 0°’den 30°’ye kadar değiştiğinde Mod 1’deki doğal frekans değerleri azalırken, 45° ile birlikte 90°’ye dek devamlı bir artış görülmüştür. Çeşitli çatlak derinliklerine bağlı olarak doğal frekans değerleri irdelendiğinde ise, fiber açısı 0° ve 15° iken çatlak derinliği 3 mm’ye kadar doğal frekans değerlerinin devamlı arttığı gözlemlenirken, fiber açısı 30° ve 45° olduğunda maksimum doğal frekans değerleri 2 mm çatlak derinliğinde tespit edilmiştir. Son olarak fiber açısı 60°, 75° ve 90° iken ise, maksimum doğal frekans değerleri bünyesinde çatlak bulundurmayan kiriş modelinde meydana gelmiştir. Tüm çatlak derinlikleri ve fiber açısı değişimleri göz

önüne alındığında, tüm modeller içerisinde Mod 1 için maksimum ve minimum doğal frekans değerleri sırasıyla çatlaksız kirişte fiber açısı  $90^\circ$  iken  $104,08$  Hz ve fiber açısı  $30^\circ$  iken  $29,54$  Hz olarak belirlenmiştir. Elde edilen tüm bu sonuçlarla beraber, vurgulanması gereken diğer önemli bir bulgu da çatlaklı ve çatlaksız kirişlerin fiber açılına göre mukayese edilmesi olacaktır. Çatlaksız kirişin Mod 1'deki doğal frekans değerleri fiber açısı  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $45^\circ$  olduğunda çatlaklı kirişlere göre daha düşükken,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$  ve  $90^\circ$  fiber açılarında ise daha yüksek bulunmuştur. Wang vd. [24] de yaptıkları çalışmada kompozit malzemelerin doğal frekanslarını katmanların dizilişi ve kalınlığı ile birlikte fiber açısının etkilediğini vurgulamış ve Mod 1'de elde edilen doğal frekans değerlerinin Mod 2 ve Mod 3'e göre daha düşük mertebede elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca, fiber açısının değişimi ile birlikte kompozit kirişin doğal frekansının değişiminde, kompozit kirişin ortotropik malzeme özellikleri sergilemesine bağlı olarak elastisite modülünün değişimi etkilidir.

**Çizelge 3.** KFTP kompozit kirişin çeşitli çatlak derinliği ve fiber açılına göre 1. Moddaki doğal frekans değerleri ve şekli

Mod-1		Mod Şekli					
		Çatlak derinliği (mm)					
		0	1	2	3	4	5
Fiber açısı ( $^\circ$ )	0	30,713	34,403	35,029	35,664	34,768	34,727
	15	29,994	32,806	33,997	34,235	33,158	33,239
	30	29,54	31,271	32,628	32,35	31,587	31,745
	45	31,998	32,449	33,728	33,006	32,696	32,846
	60	40,663	39,037	40,148	38,596	38,926	38,963
	75	64,826	57,066	57,051	53,755	55,406	54,966
	90	104,08	78,462	74,819	71,924	76,034	74,339

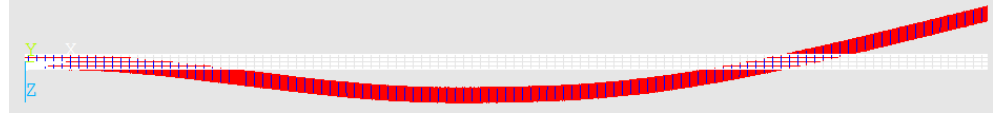


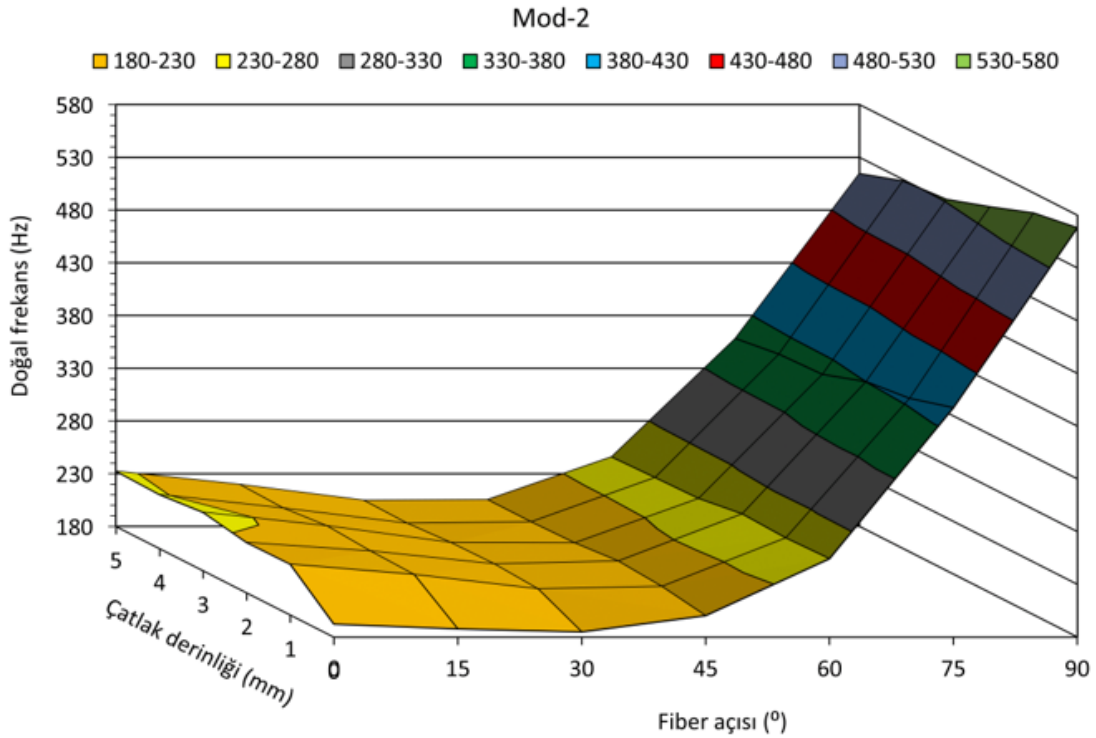
**Şekil 2.** Mod 1'de fiber açısı ve çatlak derinliği değişimine bağlı olarak doğal frekansın değişimi

Çizelge 4'te ilgili kirişin, çatlak derinliği ve fiber açısına bağlı olarak değişen Mod 2'deki doğal frekans değerleri ve mod şekli verilirken, benzer şekilde Şekil 3'te üç boyutlu görsel olarak sunulmuştur. Çizelge 4 ve Şekil 3 incelendiğinde, Mod 2'deki doğal frekans değerlerinin Mod 1'deki frekans değerlerine göre arttığı görülmektedir. Mod 2'deki maksimum ve minimum doğal frekansları sırasıyla fiber açısı  $30^\circ$  iken

184,87 Hz değeri ile, fiber açısı  $90^\circ$  iken 568,11 Hz değeri ile çatlaksız kirişte meydana gelmiştir. Ek olarak, Mod 1'deki değişime benzer şekilde Mod 2'de de,  $30^\circ$ 'ye kadar doğal frekans değerleri azalırken, çatlak derinliği 3 mm, fiber açısı  $30^\circ$ 'den  $45^\circ$ 'ye geçiş dışında, fiber açısı  $30^\circ$ 'den sonra doğal frekans değerleri artmaktadır. Başka bir çalışmada ise Mod 2'deki doğal frekans değerlerinin  $0^\circ$ 'den  $90^\circ$ 'ye dek devamlı olarak arttığı görülmektedir [25]. Ancak, aynı çalışmada çatlak derinlik değişimi ile artış eğiliminin önemli seviyede azaldığı da açıklanmıştır. İlave olarak, ilgili çalışmada üç çatlak derinliği incelenirken bu çalışmada bu sayı beş olarak belirlenmiş daha kapsamlı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Görüldüğü üzere, çatlak derinliğinin kiriş boyutlarına göre oranı kompozit kirişin doğal frekans değerlerini kritik düzeyde etkilemektedir. Dokhe vd. [26] de karbon çeliğinden imal edilmiş yapıdaki çatlak derinliğinin doğal frekans değerlerine etkisini deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelemişler ve çatlakın, kirişin rijitliğinde azalma, sönümlenme kapasitesinde ise bir artışa sebebiyet yarattığını rapor etmişlerdir. Dolayısıyla kirişteki bu fiziksel değişimlerin kirişin doğal frekans değerlerini düşürdüğünü açıklamaktadırlar. İlgili durum bu çalışmada da fiber açısı  $75^\circ$  ve  $90^\circ$  iken görülmüştür. Bu bağlamda, kompozit malzemeden üretilen kirişin doğal frekans değerlerinde fiber açısının da literatürdeki diğer bir çalışmada [27] vurgulandığı üzere önemli bir parametre olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.** KFTP kompozit kirişin çeşitli çatlak derinliği ve fiber açlarına göre 2. Moddaki doğal frekans değerleri ve şekli

		Mod Şekli					
							
		Çatlak derinliği (mm)					
		0	1	2	3	4	5
Fiber açısı ( $^\circ$ )	0	192,25	228,03	227,57	235,22	231,06	232,25
	15	187,73	218,22	219,5	222,37	218,2	219,64
	30	184,87	204,58	207,2	206,52	203,78	204,65
	45	200,28	206,87	209,92	206,15	205,12	205,19
	60	254,26	252,9	254,66	248,27	247,16	245,71
	75	397,465	385,28	380,16	366,06	364,3	358,16
	90	568,11	561,09	545,96	532,02	528,55	514,44

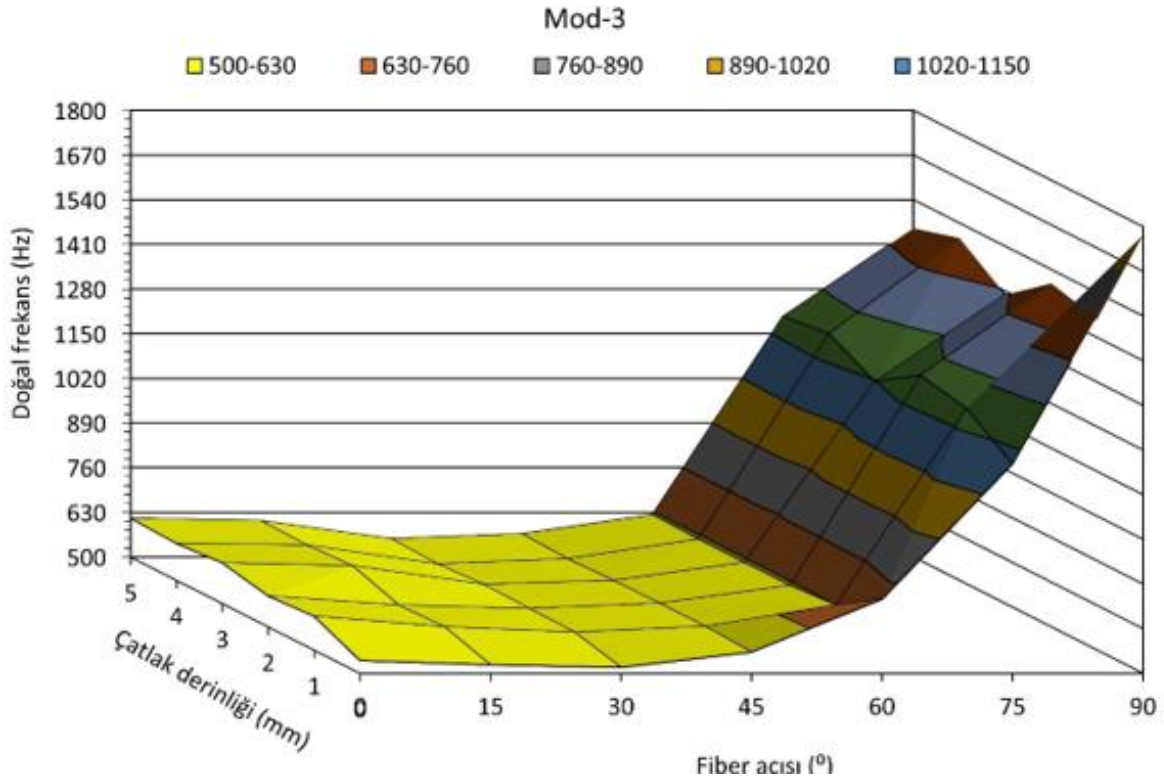


**Şekil 3.** Mod 2'de fiber açısı ve çatlak derinliği değişimine bağlı olarak doğal frekansın değişimi

Son olarak Çizelge 5 ve Şekil 4’te de Mod 3 için kompozit kırıışın doğal frekansları verilmiştir. Çizelge 5 ve Şekil 4’e göre, doğal frekans değerlerinin Mod 1’den Mod 2’ye geçişte olduğu üzere arttığı görülmektedir. İlgili sonuç, literatürdeki diğer araştırmalarla uyum halindedir [28,29]. Ayrıca, değişen fiber açı ve çatlak derinlik değerlerinin doğal frekans değerlerinde Mod 1 ve Mod 2’ye nazaran daha fazla dalgalanma yarattığı belirlenmiştir. 1776,3 Hz ile maksimum ve 517,27 Hz ile minimum doğal frekans değerleri çatlaksız kırıışte sırasıyla fiber açısı 90° ve 30°’de tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma literatürdeki diğer çalışmaları mukayese edildiğinde, literatürdeki çalışmalarda çatlak derinliğinin artmasıyla birlikte doğal frekans değerlerinin düştüğü ifade edilirken, bu çalışmada ise çatlak derinliğinin, doğal frekans değerlerinin artış ya da azalışında önem arz ettiğini göstermektedir. Ayrıca, çatlak derinlik değişiminin yanı sıra fiber açısı da kompozit kırıışın doğal frekans değerlerini doğrudan etkilemiştir.

**Çizelge 5.** KFTP kompozit kırıışın çeşitli çatlak derinliği ve fiber açılara göre 3. Moddaki doğal frekans değerleri ve şekli

Mod-3		Mod Şekli					
		Çatlak derinliği (mm)					
		0	1	2	3	4	5
Fiber açısı (°)	0	537,28	598,21	589,53	618,12	606,94	612,94
	15	524,72	567,53	562,84	609,38	602,13	605,43
	30	517,27	551,65	553,09	555,84	547,27	552,62
	45	561,93	568,63	568,16	566,61	562,02	567,16
	60	715,84	630,42	619,93	619,26	619,07	622,83
	75	1109,68	1203,2	1232	1146,4	1218	1199,9
	90	1776,3	1464,2	1499,4	1398,6	1495,9	1456,8



**Şekil 4.** Mod 3’de fiber açısı ve çatlak derinliği değişimine bağlı olarak doğal frekansın değişimi



#### 4. SONUÇLAR

KFTP kompozit kirişte fiber açısının ve çatlak derinliğinin, kirişin Mod 1, Mod 2 ve Mod 3'teki doğal frekanslarını nasıl etkilediği üzerine gerçekleştirilen bu sonlu elemanlar analizi çalışmasıyla aşağıda sıralanan önemli bulgular elde edilmiştir.

- Mod sayısı arttıkça (Mod 1'den Mod 3'e doğru), kompozit kirişin doğal frekans değerleri de artış göstermektedir.
- Bünyesinde çatlak bulundurmeyen kompozit kirişler, çatlak bulduran kompozit kirişlere göre fiber açısı 45°'ye kadar daha düşük doğal frekans değerlerine sahipken, fiber açısı 45°'den sonra daha yüksek doğal frekans değerlerine sahiptir (Mod 3'te, fiber açısı 75° olan çatlaksız kiriş hariç).
- Kompozit kirişlerde çatlak derinliğinin farklı modlarda farklı etkilere sahip olduğu belirlenmiştir.
- Sabit bir fiber açısına sahip kompozit kirişlerde, çatlağa sahip olan kirişlerin doğal frekans değerlerinin çatlaksız kirişlerin doğal frekans değerlerine göre %10 ile %20 arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür.
- Literatürdeki çalışmalarda çatlak derinliğinin artmasıyla birlikte kirişin rijitliğinin azalmasına bağlı olarak kirişin doğal frekans değerinin azaldığı görülmektedir. Ancak, bu çalışmada görülmüştür ki, fiber açısı ve çatlak derinliğinin büyüklüğü bu durumu değiştirebilmekte ve yer yer doğal frekans değerlerinde artış da görülebilmektedir.
- KFTP kompozit kirişlerde çatlak derinliğinin ve fiber açılarının ilgili kirişin doğal frekanslarını etkilediği ancak, fiber açısı değişiminin çatlak derinliğine nazaran daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Gelecek çalışmalarda, endüstride sıklıkla tercih edilen KFTP kompozit malzemelerde çatlak derinliğinin yanı sıra çatlağın bulunduğu bölgenin ve çatlak açısının doğal frekansa etkisini belirleyebilmek için başka bir çalışma gerçekleştirilebilir.

#### KAYNAKLAR

1. Chawla, K.K., "Composite Materials: Science and Engineering", Third Edition, Springer, 2012.
2. Faizan, M. and Gangwar, S. "Tensile behaviour of carbon fiber reinforced polymer composite using ANSYS 21". Materialstoday: Proceedings, In Press. 2021.
3. Li, A.J., Zhang, J.J., Zhang, F.Z., Li, L., Zhu, S.P., Yang, Y.H., "Effects of fiber and matrix properties on the compression strength of carbon fiber reinforced polymer composites", New Carbon Materials, Vol. 35, Issue 6, Pages 752-761, 2020.
4. Perner, M., Algermissen, S., Keimer, R., Monner, H.P., "Avoiding defects in manufacturing processes: A review for automated CFRP production", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 38, Pages 82-92, 2016.
5. Visal, S., and Deokar, S.U., "A review paper on properties of carbon fiber", Reinforced Polymers, Vol. 2, Issue 12, Pages 238-243, 2016.
6. Firmo, J.P., Correia, J.R., França, P., "Fire behaviour of reinforced concrete beams strengthened with CFRP lamintes: protection systems with insulation of the anchorage zons", Compos. Part B Eng., Vol. 43, Issue 3, Pages 1545-1556, 2012.
7. Masilamani, R., Dhandapani, N.V., Kumar, K.V., Mani, K.T., "A review on usage of carbon fiber reinforced plastics in automobiles", Int. J. Pure Appl. Math., Vol. 117, Issue 20, Pages 537-544, 2017.
8. Capozucca, R., "Vibration of CFRP cantilever beam with damage". Composite Structures, Vol. 116, Pages 211-222, 2014.

9. Yavuz, İ., Minaz, M. R., and Kuncan, M., “1,1 kw'lık indüksiyon motorun oluk sayısının verime ve torka etkisinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”. IETS'18 International Engineering and Technology Symposium, Batman, Turkey 3-5 Mayıs 2018, pp. 555-560, 2018.
10. Ergene, B. and Bolat, Ç., “Determination of thermal stress and elongation on different ceramic coated Ti-6Al-4V alloy at elevated temperatures by finite element method”, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, Vol. 38, Issue 4, Pages 2013-2026, 2020.
11. Li, A.J., Zhang J.J., Zhang F.Z., Li, L., Zhu, S.P., Yang, Y.H., “Effects of fiber and matrix properties on the compression strength of carbon fiber reinforced polymer composites”, New Carbon Materials, Vol. 35, Issue 6, Pages 752-761, 2020.
12. Tita, V., Carvalho, J.D., Lirani, J., “Theoretical and Experimental Dynamic Analysis of Fiber Reinforced Composite Beams”, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., Vol. 25, Issue 3, Pages 306-310, 2003.
13. Atlıhan, G. and 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.
14. Norman, M.A.M., Zainuddin, M.A., Mahmud, J., “The effect of various fiber orientations and boundary conditions on natural frequencies of laminated composite beam”, International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, Issue 3-11, Pages 67-71, 2018.
15. Ghodke, P.Y., Tupe, D.H., Gandhe, G.R., “Modal Analysis Of Cracked Continuous Beam Using ANSYS”, International Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, Issue 2, Pages 86-93, 2017.
16. Al-Waily, M., “Theoretical and Numerical Vibration Study of Continuous Beam with Crack Size and Location Effect”, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 2, Issue 9, Pages 4166-4177, 2013.
17. Jena, P.C., Parhi, D.R., Pohit, G., “Dynamic study of composite cracked beam by changing the angle of bidirectional fibres”, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science, Vol. 40, Pages 27-37, 2016.
18. Daş, T.M. and Yılmaz, A., “Çatlaklı dairesel eğri kompozit kirişlerin titreşim analizleri”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol. 33, Issue 3, Pages 783-791, 2018.
19. Yalçın, B. and Ergene, B., “Farklı malzemelere sahip hibrid kompozitlerde çatlağın mekanik davranışlara etkisinin analizi”, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, Vol. 24, Issue 4, Pages 616-625, 2018.
20. Kaw, A.K., “Mechanics of Composite Materials”, 2nd ed. USA, Taylor and Francis, 2006.
21. Myklestad, N.O., “Fundamentals of Vibration Analysis”, 1<sup>th</sup> ed. New York, USA, Dover Publications, 2018.
22. Dutta, R., Ganguli R., Mani, V., “Swarm intelligence algorithms for integrated optimization of piezoelectric actuator and sensor placement and feedback gains”, Smart Materials and Structures, Vol. 20, Issue 10, 105018, 2011.
23. 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.
24. Wang, B., Zhao, F., Zhao, Z., Xu, K., “Influence factors on natural frequencies of composite materials”, Front. Mech. Eng., Vol. 15, Issue 4, Pages 571-584, 2020.
25. Shadadaf, A.K., “Vibration analysis of composite beam with crack”, Master Thesis, Departments of Civil Engineering, National Institute of Technology Rourkela, 2013.

26. Dokhe, S., Pimpale, S., “Effect of crack on modal frequency of cantilever beam”, International Journal of Research in Aeronautical and Mechanical Engineering, Vol. 3, Issue 8, Pages 24-38, 2015.
27. Çevik, M., “Effect of Fiber Orientation on Out-of-Plane and In-Plane Natural Frequencies of Angle-Ply Laminated Composite Arches”, Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 28, Issue 1, 59-71, 2008.
28. Maraş, S., Yaman, M., Şansveren, M.F., Reyhan, S.K., “Free vibration analysis of fiber metal laminated straight beam”, Open Chem., Vol. 16, Pages 944-948, 2018.
29. Norman, M.A.M., Zainuddin, M.A., Mahmud, J., “The effect of various fiber orientations and boundary conditions on natural frequencies of laminated composite beam”, International Journal of Engineering & Technology, Vol. 7, Issue 3.11, Pages 67-71, 2018.