



Vibration analysis of a cracked circular curved beams

Memik Taylan Daş*^{ID}, Ayşe Yılmaz^{ID}

Department of Mechanical Engineering, Kırıkkale University, Kırıkkale, 71450, Turkey

Highlights:

- The FEM of cracked curved composite beam
- Modal Analysis with cracks at different depths and different locations
- Comparison of steel and composite beam behavior

Keywords:

- Curved composite beam
- Transverse crack
- Natural frequency

Article Info:

Received: 14.12.2016

Accepted: 13.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416380

Acknowledgement:

Correspondence:

Author: M.Taylan DAS
e-mail: mtdas@kku.edu.tr
phone: 0318 357 4242/1006

Graphical/Tabular Abstract

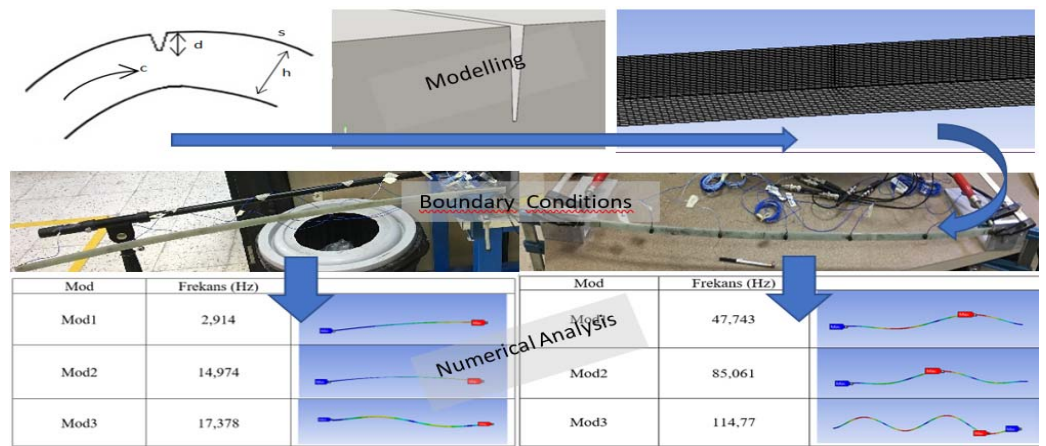


Figure A. Numerical analysis for vibration behaviour of cracked curved composite beam

Purpose: In-plane vibrations of cracked circular curved(CCC) beams made of two different materials (steel and composite) are investigated.

Theory and Methods:

The finite element method performed with Ansys is used to determine first three modes natural frequencies of beams.

Results:

Results are presented with respect to variable crack depth & crack locations for Fixed-Fixed and Fixed-Free boundary conditions obtained during the study.

Conclusion:

It is seen that the change of natural frequency values of the modes depends on the crack depth and location for both fixing supports. Compared with the results obtained in the literature, it is seen that natural frequency behavior is mostly decreasing.



Çatlaklı dairesel eğri kompozit kirişlerin titreşim analizleri

Taylan Memik Daş*^{ID}, Ayşe Yılmaz^{ID}

Kırıkkale University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 71450, Kırıkkale, Turkey

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Çatlaklı eğri kompozit kirişlerin Sonlu Elemanlar Analizi
- Farklı konum ve değişen derinliklerdeki çatlaklar ile modal analiz
- Çelik ve kompozit kiriş davranışlarının karşılaştırılması

Makale Bilgileri

Geliş: 14.12.2016

Kabul: 13.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416380

Anahtar Kelimeler:

Eğri kompozit kiriş,
enine çatlak,
doğal frekans

ÖZET

Günümüzde, kompozit malzemelerden imal edilen kirişler özellikle havacılık ve otomotiv endüstrisinde en önemli yapı elemanlarından birisi olarak yer almaktadır. Bu kirişler sadece düz olarak değil eğri şekilde de kullanılabilir. Bu çalışmada çatlaklı, çelik ve kompozit olmak üzere iki farklı malzemeden yapılmış olan dairesel eğri kirişlerin düzlem içi titreşimleri ANSYS’de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. İncelenen kiriş, Rayleigh-Ritz kirişi olarak ele alınıp kiriş üzerinde farklı konum ve derinlikteki çatlakların ilk üç modundaki doğal frekanslarının değişimi değerlendirilmiştir. Kirişteki dairesel eğrilik boyuna ekseninde düzlemsel olarak modellenmiştir. Çalışma sırasında kiriş, konsol (Ank-Ser) ve iki ucu sabit (Ank-Ank) mesnetli bağlantı şekilleri ile tutturulmuştur. Çatlak, kılcal çatlak olarak ele alınmıştır. Farklı konumlardaki çatlak ve çatlakların değişen derinliklerdeki doğal frekans değerleri incelendiğinde çatlak derinliği arttıkça doğal frekans değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Vibration analysis of a cracked circular curved beams

H I G H L I G H T S

- The Finite Element Analysis of cracked curved composite beam
- Modal analysis with cracks at different depths and different locations
- Comparison of steel and composite beam behavior

Article Info

Received: 14.12.2016

Accepted: 13.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416380

Keywords:

Curved composite beam,
transverse crack,
natural frequency

ABSTRACT

Nowadays, beams which are made of composite materials are one of the most important structure elements used in aerospace and automotive industries. These beams can be used not only in straight form but also curved one. In this study, in-plane vibrations of cracked circular curved beams made of two different materials (steel and composite) are calculated by using finite element method via software package ANSYS. First three modes and respective natural frequencies of the Rayleigh-Ritz beam with a crack in different locations and depths are evaluated. Circular curvature is modelled on a plane inclined in longitudinal axis. During the study, beam is fixed by using either cantilever (Fix-Free) or both end fixed (Fix-Fix) support connections. Crack is regarded as a capillary crack. When the cracks in different locations and depths are investigated, it is observed that as the crack depth increases, natural frequency value decreases.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: mtdas@kku.edu.tr / Tel: +90 318 357 4242

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Eğri kirişlerin titreşimleri uzun zamandır araştırma konusudur. Eğri kirişler dişlilerde, elektrik makinelerinde, pompa ve türbinlerde, gemilerde, köprülerde turbo makineler gibi geniş kapsamlı kullanım alanlarına sahiptirler. Kirişler, kullanıldığı yerler göz önüne alındığında önemli bir konumdaki yapı elemanları arasında bulunmaktadır. Metal alaşımli kirişlerin yanısıra, yüksek mukavemet ve direngenlik değerine sahip kompozit malzemelerden imal edilen kirişler de özellikle havacılık endüstrisinin vazgeçilmez yapı elemanları arasında yer almaktadır. Düşük özgül mukavemet ve direngenliği ve korozyon direnci nedeniyle tercih edilen kompozit kirişlerde oluşabilecek deformasyonların boyutu önem arz etmektedir. Daha önceki çalışmalarda da kirişlerde çatlak konumu ve derinliğinin doğal frekans üzerine etkilerinin araştırıldığı görülmektedir. Ancak, literatürde çoğunlukla çatlaklı düz kirişler üzerine çalışmalar yapılmıştır. Karthikeyan M. vd. [1], düz bir kirişte çatlak konumu ve derinliğinin üzerine serbest ve zorlamalı titreşim konusunda çalışmıştır. Timoshenko kiriş teorisine göre transvers titreşim modelini kullanmıştır. Sonlu elemanlar modeli kullanarak kiriş üzerine açılan çatlakların serbest ve zorlanmış titreşim analizlerini sonuçlarını sunmuştur. Çatlaklı bir yapıda çatlak konumu ve çatlak derinliğinin performans üzerine etkisi olduğunu göstermiştir. Sutar M.K [2], konsol kiriş üzerinde çatlak konumu ve doğal frekans arasındaki bağıntıyı sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiş ve tanımlamıştır. Tek çatlak için farklı konum ve derinlikleri incelemiştir. Çatlak derinliği ve doğal frekans arasındaki bağıntıyı analizlerle elde ederek, doğal frekanstaki azalmanın sertlikte azalmaya sebep olduğunu gözlemiştir. Bu durumun kirişte dinamik cevabı değiştirdiği sonucunu elde etmiştir. Çatlaklı düz kirişler üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında; Chondros T.G vd. [3], sürekli çatlaklı kiriş teorisini geliştirmişlerdir. Tek veya çok çatlak açılan Euler-Bernoulli kirişler ile çalışmıştır. Kisa M. vd. [4], çatlaklı bir Timoshenko kirişin titreşim analizlerini, sonlu eleman ve parça mod sentezi yöntemlerini birleştirerek çözüme ulaşmıştır. Fernández-Sáez J. vd. [5], enine çatlaklı Euler- Bernoulli kirişlerinin doğal frekanslarının hesaplanması için basit yöntemler önermişlerdir. Bowsunovsky A.P. vd. [6], çalışmalarında kapanan çatlak için dinamik karakteristik yapıyı incelemişlerdir. Enine çatlaklı Euler- Bernoulli konsol kirişlerinin çatlak parametrelerinin dinamik karakterleri üzerine etkilerini belirlemek için analitik yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Khiem N.T. vd. [7], birden fazla çatlaklı dönebilen yaylar ile modelleyip transfer matrisi yöntemiyle frekans değerlerini hesaplamışlardır. Sayısal çözümler kullanarak çatlak sayısı, sınır koşulları ve her bir çatlakın kirişin doğal frekansına etkisini araştırmışlardır. Saavedra P.N. vd. [8], enine çatlak içeren çoklu kiriş sistemlerinin deneysel ve analitik davranışlarını incelemiştir. Doğrusal kırılma mekaniği teorisine verilen uzama oranı enerjisini kullanılarak kirişin dinamik davranışlarını sunmuş, çatlak sistemleri sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Zheng D.Y. vd. [9], çalışmalarında direngenlik matrisini toplam esneklik matrisinden elde ederek, basit ve konsol mesnetli çatlaklı kirişlerin doğal frekanslarını sonlu

elemanlar yöntemi kullanarak çözüm yapmışlardır. Genel olarak çalışmaların, çatlaklı düz kirişlerin analiz ve deneysel çalışmaları üzerinde yapıldığı görülmektedir. Ancak, çatlaklı eğri kirişler üzerine yapılan çalışmaların halen devam ettiği ve yeterli sayıda olmadığı literatür taramalarında karşımıza çıkmaktadır. Pek çok çalışmaya çatlak dahil edilmiş olup eğri çatlaklı kirişlerde değişen çatlak konum ve derinlikleri üzerine odaklanılmamıştır. Bununla birlikte kompozit malzemeden elde edilen, dairesel eğri kirişlerin titreşimi üzerine yapılan çalışmalarda sınırlı miktarda olduğu gözlemlenmiştir. Raveendranath P. vd. [10], normal ve teğetsel yer değiştirme için polinom dağılımlı eğri kiriş elemanını sonlu eleman metodu kullanarak çözmüştür.

Yer değiştirmeleri yakınsamak için çeşitli derecelerde polinomlar kullanmıştır. Oh S. J. vd. [11], değişik eğri fonksiyonları, farklı kesitler ve farklı sınır şartları için frekanslar ve titreşim biçimlerinin belirli parametreler kullanarak etkinlik ve güvenilirliğini elde etmiştir. Eğri kirişlerdeki çatlaklar üzerinde çalışmalara bakıldığında; Krawczuk M. ve Ostachowicz W.M. [12], açık enine çatlaklı eğri kirişin doğal frekanslarını Ank-Ank durum için hesaplatmıştır. Cerria M.N. ve Rutab G.C. [13], hasarlı eğri kirişlerin doğal frekanslarını hesaplatmıştır. Çalışmalarında hasarı, iki uca tutunan dönen yay ile temsil etmişler ve eğilme direngenliğini (*EI*) azalan bir fonksiyon olarak kabul etmişlerdir. Nobile L. [14], S-teorisini kullanarak eğri kirişlerde karışık mod çatlak büyümesini çalışmıştır ve yaklaşık gerilme yoğunluk faktörünü hesaplatmıştır. Çatlaklı düz kirişlerin eşdeğer direngenliği, çatlak konumu ve derinliğine bağlı olarak analitik olarak ifade edilmiştir [15, 16]. Özyiğit vd. [17], çerçevelerin düzlem içi ve dışı titreşimlerini sonlu eleman yöntemi ile incelemiştir [18]. Diğer bir çalışmada, Öz H.R. ve Daş M.T. [19, 20], dairesel eğri kirişlerin düzlem içi titreşimlerini çalışmış, farklı boyut ve konumlardaki çatlaklar için tabii frekansları çalışmışlardır. Orhan S. [21], serbest ve zorlamalı titreşim altında konsol kirişte çatlak analizi çalışmasını yapmıştır. Çatlak konum ve derinliklerini tek kenar ve iki kenar çatlakları için değerlendirmiştir. Tekin G. vd. [22], kirişlerin çarpma yükleri altındaki davranışlarının analitik incelemesini sunmuştur. Toygar E. vd [23], kompozit bir kirişte farklı uzunluklarda ön yüzey çatlaklarını sayısal ve ANSYS sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Okutan B.B. [24], sandviç yapıli kompozit kirişlerde eğimli ve düz kirişlerde doğal frekans altında değişen açılarla, Ank-Ank kiriş için titreşim davranışlarını değişen açılarla incelemiştir. Bu çalışmada, çatlaklı dairesel eğri bir kirişin sonlu elemanlar metodu kullanılarak düzlem içi titreşimleri incelenmiştir. Çelik ve kompozit malzemelerden yapılmış bu kirişlerin ilk üç modu için doğal frekansları hesaplanmıştır. Farklı sınır şartlarında, çatlakın konumu ve derinliği değiştirilerek de sonuçlar irdelenmiştir.

2. EĞRİ KİRİŞİN MATEMATİKSEL MODELİ (MATHEMATICAL MODEL OF CURVED BEAM)

Bu çalışmada incelenecek belirli eğrilik açısına sahip olan çubuk Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistemin hareket denklemini çıkarmak için enerji yöntemi kullanılmıştır.

Yer değiştirmeyi hesaplamak için elastiklik ve kinetik enerji denklemleri Eş.1 ve Eş.2’de verilmiştir.

$$U = \frac{1}{2} E \int_0^s [A\epsilon^2 + I\kappa^2] dx \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{2} \rho \int_0^s [A(\dot{u}^2 + \dot{v}^2) + I\dot{\beta}^2] dx \quad (2)$$

Burada (*) zamana bağlı değişmeyi göstermektedir. Eş. 1 ve Eş. 2’de yer alan düzlem içi yüzde uzama, net kesit dönmesi ve eğrilikteki değişim sırası ile Eş. 3’de gösterilmiştir.

$$\epsilon = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{v}{R}, \quad \beta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{u}{R}, \quad \kappa = \frac{\partial \beta}{\partial x} = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (3)$$

Dikdörtgen kesitli, kesit alanı ($b \cdot h$) olan düz kirişlerde, Mod 1 çatlak durumu (d çatlak derinliği) için eşdeğer eğilme direngenliği Eş. 4’de verilmiştir [15, 25].

$$EI_c = \frac{EI}{1 + \frac{EIR(d,c)}{1 + \left(\frac{s-c}{k(d)d}\right)^2}} \quad \text{için,}$$

$$R(d,c) = \frac{2D(d)}{k(d)a \left(\arctan\left(\frac{s-c}{k(d)d}\right) + \arctan\left(\frac{c}{k(d)d}\right) \right)} \quad (4)$$

$$k(d) = \frac{3\pi(F(d))^2(h-d)^3d}{(h^3 - (h-d)^3)h}, \quad D(d) = \frac{18\pi(F(d))^2d^2}{Ebh^4},$$

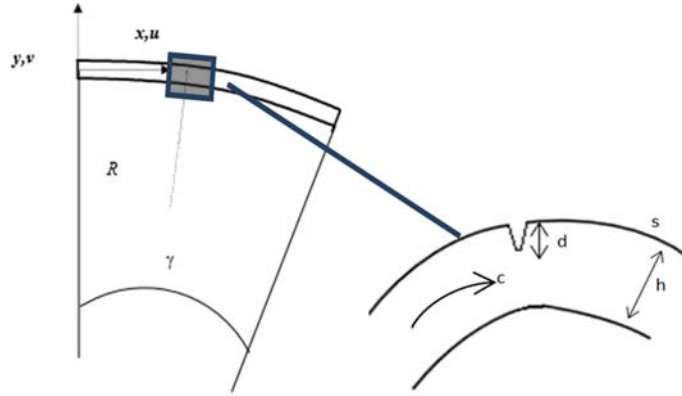
$$F(d) = 1.12 - 1.4\left(\frac{d}{h}\right) + 7.33\left(\frac{d}{h}\right)^2 - 13.8\left(\frac{d}{h}\right)^3 + 14\left(\frac{d}{h}\right)^4$$

Yukarıda verilen eşitlikler düz kirişlerin yanında, küçük yay açıları için teğetsel koordinat ile eğilme katusallığının değişimini temsil ettiği varsayımı yapılarak hesaplamalarda kullanılmıştır.

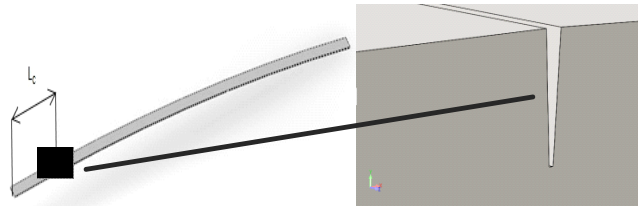
3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ (FINITE ELEMENT METHODS)

Bu çalışmada, Rayleigh-Ritz kiriş modeli ele alınmıştır. Ank-Ser ve Ank-Ank sınır şartlarına sahip eğri kiriş modeli için doğal frekanslar kullanılarak farklı çatlak konum ve derinlikleri üzerine analizler yapılmıştır. Eğrilik yarıçapı $R = 2,864$ m olan kirişin, uzunluğu ise uzunluğu $0,795$ m’dir. Kiriş üzerine sonlu elemanlar metodu ile titreşim uygulanarak sonuçlar farklı konumda ve derinlikte çatlak modeli için kullanılmıştır. Şekil 2’de modellenen kiriş ve çatlak bölgesinin katı model görünümü sunulmuştur. Kirişin genel özellikleri Tablo 1’de belirtilmiştir.

Analizler, ANSYS paket programı kullanılarak yapılmıştır. 3 boyutlu modelde ‘v’ çatlak şekli kullanılmıştır. Çatlak genişliği $0,5$ mm olarak modellenmiştir. Kirişin eğimli olması ve çatlaklı olması sebebiyle lineer dağılım elde etmek zordur bu sebeple çatlak bölgesine daha yoğun olacak şekilde kiriş genişliğine ve çatlak derinliğine göre daha yoğun ağ atılmıştır. Ağ atarken tüm kiriş ve çatlak bölgesi için iki ayrı yöntem kullanılmıştır. Çatlak bölgesi daha yoğun ağ ile ayrılmıştır. Ansys paket programında, ağ başlığı içinde yer alan ‘body sizing’ kirişin genel yapısında, çatlak bölgesinde de ‘sphere of influence’ kullanılmıştır.



Şekil 1. h kesit yüksekliğinde, c konumunda, d derinliğinde çatlaklı dairesel eğri kiriş (A circular curved beam with a crack with depth d, at location c and cross section height h)



Şekil 2. Çatlaklı eğri kiriş ve çatlak bölgesinin katı modeli (Solid model of cracked curved beam and cracked region)

Model üzerinden düğüm sayısı ve eleman sayısı deneme yoluyla ayarlanmıştır. Denemelerde 1000, 5000, 15000, 25000, 250000 düğüm noktası ve 100, 1000, 10000, 100000 eleman sayısında denemeler yapılmıştır. Frekans değişimleri düğüm noktası ve eleman sayısı arttıkça doğal frekandaki değişim değerinin virgülden sonra bin ve onbin mertebesinde frekansta belirgin bir değişimin gözlenmediği sonuçların kararlı olarak devam ettiği noktada analiz için gerekli düğüm sayısı ve eleman sayısı kabulleri yapılmıştır. Düğüm sayısı ortalama 200000, eleman sayısı 140000 belirlenerek analizlerde kullanılmıştır. Ank-Ank ve Ank-Ser sınır şartlarında, her kiriş için farklı konumlar ile farklı derinliklerdeki çatlakların ilk üç mod için doğal frekans değerleri, analizler sonucunda elde edilmiştir. Analiz sırasında kullanılan bir kirişin örnek mesh yapısı Şekil 3’de gösterilmiştir.

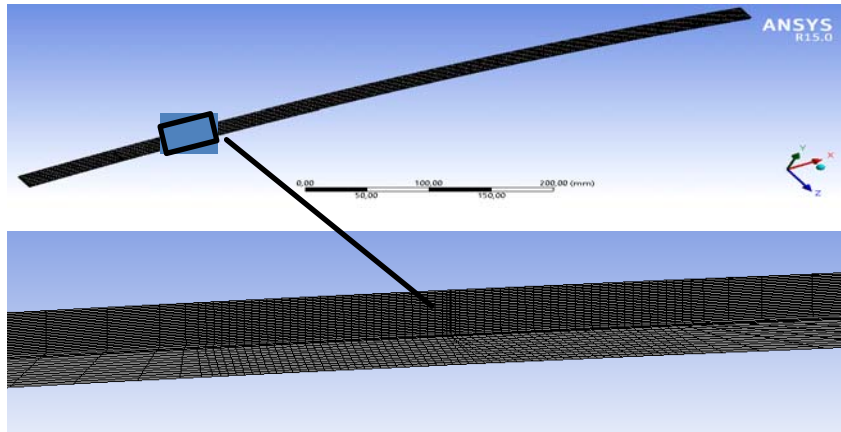
4. SONUÇLAR VE TARTİSMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Farklı derinlik ve konumlardaki çatlakların ilk üç moddaki doğal frekansları, çelik ve kompozit malzeme için ayrı ayrı

analizler yapılmıştır. Çelik malzeme için Ank-Ank durumunda alınan sonuçlar Şekil 4’te ve Ank-Ser durumu için elde edilen sonuçlar Şekil 5’te’de verilmiştir. Kompozit malzeme için Ank-Ank durumunda alınan sonuçlar Şekil 6’da’ ve Ank-Ser durumu için alınan sonuçlar Şekil 7’de sunulmuştur. Şekil 4-7 incelendiğinde, kirişin üzerine yerleştirilen çatlağın bağlantı noktasından sırasıyla 0,095, 0,195 ve 0,295 m konumunda, h/10, 2h/10 ve 3h/10 çatlak derinliğinde elde edilen ilk üç mod doğal frekans değerleri verilmiştir. Genel olarak, sayısal değerler incelendiğinde, doğal frekansların literatürde yapılan düz ve eğri kiriş çalışmalarında gözlemlendiği gibi derinlik arttıkça azaldığı, ancak derinlik konumu bağlantı noktasından uzaklaştıkça doğal frekans değerinin çoğunlukla arttığı, ancak bu sonucun genelleştirilemediği elde edilen sonuçlar arasındadır [2, 26]. Şekil 4, 5, 6, ve 7 de sunulan sonuçlar frekans değerlerinin düğüm noktalarındaki değişimlerin genel görünümü ve düğüm noktalarındaki doğal frekans değerlerinin değişimini göstermektedir. Serbest titreşim altında, Ank-Ser bir kirişin, 1.mod frekansında 1 düğüm noktası, 2. Mod frekansında 2 düğüm noktası, 3. Mod frekansında 3 düğüm noktası gözlemlenmektedir. Ank-Ank kirişte düğüm noktası sayısı mod değerinden bir fazla olarak oluşmaktadır.

Tablo 1. Kiriş özellikleri (Beam Specifications)

Parametre	Değişkenler
Çatlak derinliği (mm)	h=2,2mm, h/10 , 2h/10,3h/10
Çatlak konumu (L _c)(m)	0,095*L, 0,195*L, 0,295*L
Materyal (b*h)(mm ²)	(16*2,2)
Eğrilik açısı(γ)	15°
Sınır şartları	Ankastre- Serbest, Ankastre-Ankastre
Malzeme	Çelik (Ç1040) Kompozit(epoksi/S-cam elyaf)
Yoğunluk (ρ)	7850 kg/m ³ 2000 kg/m ³
Elastisite modülü	E=207 GPa E _{xx} =1700 MPa E _{yy} =35 MPa E _{zz} =35 MPa



Şekil 3. Çatlaklı eğri kirişin ağ yapısı ve Çatlak bölgesi ağ yapısı gösterimi
(Illustration of cracked curved beam mesh model and structure of meshes around cracked region)

Konum	Derinlik		h/10		2h/10		3h/10	
	Mod	Frekans (Hz)		Frekans (Hz)		Frekans (Hz)		
0,095m	Mod1	2,992		2,988		2,982		
	Mod2	18,573		18,567		18,557		
	Mod3	19,379		19,369		19,351		
0,195m	Mod1	2,993		2,990		2,986		
	Mod2	18,58		18,575		18,573		
	Mod3	19,381		19,375		19,364		
0,295m	Mod1	2,998		2,993		2,990		
	Mod2	18,57		18,559		18,548		
	Mod3	19,381		19,378		19,374		

Şekil 4. Çatlaklı çelik kirişin Ank- Ser bağlantı için ilk 3 mod şekilleri
(Mode shapes of cracked steel beam for Ank-Ser condition)

Konum	Derinlik		h/10		2h/10		3h/10	
	Mod	Frekans (Hz)		Frekans (Hz)		Frekans (Hz)		
0,095m	Mod1	52,325		52,325		52,324		
	Mod2	93,016		93,006		92,989		
	Mod3	133,57		133,55		133,5		
0,195m	Mod1	52,314		52,284		52,232		
	Mod2	93,005		92,965		92,898		
	Mod3	133,585		133,578		133,570		
0,295m	Mod1	52,311		52,281		52,249		
	Mod2	93,013		92,996		92,977		
	Mod3	133,57		133,55		133,53		

Şekil 5. Çatlaklı çelik kirişin Ank- Ank bağlantı için mod şekilleri
(Mode shapes of cracked steel beam for Ank-Ank condition)

Konum	Derinlik	h/10		2h/10		3h/10	
	Mod	Frekans (Hz)		Frekans (Hz)		Frekans (Hz)	
0,095 m	Mod1	2,912		2,906		2,894	
	Mod2	14,969		14,959		14,941	
	Mod3	17,374		17,363		17,345	
0,195 m	Mod1	2,913		2,908		2,902	
	Mod2	14,972		14,966		14,955	
	Mod3	17,379		17,378		17,377	
0,295m	Mod1	2,9131		2,9105		2,9078	
	Mod2	14,972		14,968		14,965	
	Mod3	17,371		17,355		17,338	

Şekil 6. Çatlaklı kompozit kirişin Ank- Ser bağlantı için mod şekilleri
(Mode shapes of cracked composite beam for Fix-Free condition)

Konum	Derinlik	h/10		2h/10		3h/10	
	Mod	Frekans (Hz)		Frekans (Hz)		Frekans (Hz)	
0,095 m	Mod1	47,75		47,74		41,862	
	Mod2	85,76		85,04		76,533	
	Mod3	114,76		114,71		114,26	
0,195 m	Mod1	47,73		47,68		47,597	
	Mod2	85,03		84,954		84,822	
	Mod3	114,78		114,76		114,74	
0,295m	Mod1	47,715		47,657		47,598	
	Mod2	85,053		85,04		85,026	
	Mod3	144,76		144,74		114,72	

Şekil 7. Çatlaklı kompozit kirişin Ank- Ank bağlantı için mod şekilleri
(Mode shapes of cracked composite beam for Fix-Fix condition)

Mod	Frekans (Hz)	
Mod1	2,9936	
Mod2	18,575	
Mod3	19,383	

Şekil 8. Çatlaksız çelik Ank – Ser bağlantı için ilk 3 mod şekilleri
(Mode analyze viewshapes of uncracked steel beam for Fix-Free conditions)

Mod	Frekans (Hz)	
Mod1	52,326	
Mod2	93,022	
Mod3	133,58	

Şekil 9. Çatlaksız çelik Ank- Ank bağlantı için ilk 3 mod şekilleri
(Mode analyze viewshapes of uncracked steel beam for Fix-Fix conditions)

Mod	Frekans (Hz)	
Mod1	2,914	
Mod2	14,974	
Mod3	17,378	

Şekil 10. Çatlaksız kompozit Ank – Ser bağlantı için ilk 3 mod şekilleri
(Mode analyze viewshapes of uncracked composite beam for Fix-Free conditions)

Mod	Frekans (Hz)	
Mod1	47,743	
Mod2	85,061	
Mod3	114,77	

Şekil 11. Çatlaksız kompozit Ank- Ank bağlantı için ilk 3 mod şekilleri
(Mode analyze viewshapes of uncracked composite beam for Fix-Fix conditions)

Mod yapısı ve düğüm noktası ile ilgili detay bilgiler bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır. Ank-Ank sınır koşulunda ki doğal frekans değerlerinin Ank-Ser sınır koşuluna göre arttığı görülmektedir. Ancak her iki malzeme içinde, Ank-Ank sınır koşulunda 3. mod'da elde edilen titreşimin sadece boyuna eksende değil diğer iki eksende de gözlemlenmesi, beklenen düğüm şekillerinin net olarak şekillerde gösterimini sağlayamamıştır. Çalışmada elde

edilen sonuçların doğrulanması için literatürdeki değerler ile karşılaştırıldığında, 0,795 m boyutunda 2,2 mm kalınlık ve 16 mm genişliğinde çatlaksız eğri kiriş ve çatlaklı düz kirişlerin titreşim değerleri elde edilen her üç mod da elde edilen doğal frekans değerleriyle, çatlak derinliğine bağlı değişen doğal frekans değer değişimlerinin birbirlerine benzer bir davranış gösterdiği görülmektedir [24, 26]. İlgili kirişlerin analiz sonucunda elde edilen 1. Mod doğal frekans

değerleri ve mod şekilleri sırasıyla çatlaksız çelik için Şekil 8 ve 9'da, çatlaksız kompozit kiriş için Şekil 10 ve 11'de gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, mod şekillerine bakılarak çelik ve kompozit malzemede her konum için çatlak derinliği arttıkça modların doğal frekans değerlerinin azaldığı görülmektedir. Literatürde elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında doğal frekans davranışının benzer olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, çatlakların sabit noktadan uzaklıkları arttıkça modların doğal frekansla değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Farklı sınır koşullarında, Ank-Ank kiriş ile Ank-Ser kiriş düğüm noktalarının doğal frekanslarının değiştiği sonucuna ulaşılmıştır. Ank-Ser sınır koşuluna sahip kirişlerin doğal frekans değerleri, Ank-Ank sınır koşulundaki kirişlerden daha düşük çıkmıştır. Bununla birlikte, kompozit malzemeyle oluşturulan kirişin doğal frekansı çelik kirişle karşılaştırıldığında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın devamında çatlaklı çelik ve kompozit kirişlerin, farklı bağlama durumları ve çatlak konumlarındaki titreşim analizlerinin deneysel sonuçlarının çıkarımının yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karthikeyan M., Tiwari R., Talukdar S., Crack localization and sizing in a beam based on the free and forced response measurements, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21, 1362–1385, 2002.
2. Sutar, M.K., Finite element analysis of a cracked cantilever beam, *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1 (2), 285-289, 2012.
3. Chondros T.G., Dimarogonas A.D., and Yao J., A continuous cracked beam vibration theory, *Journal of Sound and Vibration*, 215 (1), 17-34, 1998.
4. Kisa M., Brandon J., Topçu M., Free vibration analysis of cracked beams by a combination of finite elements and component mode synthesis methods, *Computers and Structures*, 67, 215-223, 1998.
5. Fernández-Sáez J., Rubio L. and Navarro C., Approximate calculation of the fundamental frequency for bending vibrations of cracked beams, *Journal of Sound and Vibration*, 225 (2), 345-352, 1999.
6. Bovsunovsky A.P. and Matveev V.V., Analytical approach to the determination of dynamic characteristics of a beam with a closing crack, *Journal of Sound and Vibration*, 235 (3), 415-434, 2000.
7. Khiem N.T. and Lien T.V., A simplified method for natural frequency analysis of a multiple cracked beam, *Journal of Sound and Vibration*, 245 (4), 737-751, 2001.
8. Saavedra P.N., Cuitino L.A., Crack detection and vibration behavior of cracked beams, *Computers and Structures*, 79, 1451-1459, 2001.
9. Zheng D.Y., Kessissoglou N.J., Free vibration analysis of a cracked beam by finite element method, *Journal of Sound and Vibration*, 273, 457–475, 2004.
10. Raveendranath P., Singh G., Pradhan B., Free vibration of arches using a curved beam element based on a coupled polynomial displacement field, *Computers and Structures*, 78, 583-590, 2000.
11. Oh S.J., Lee B.K., Lee I.W., Free vibrations of non-circular arches with non-uniform cross-section, *International Journal of Solids and Structures*, 37, 4871-4891, 2000.
12. Krawczuk M., Ostachowicz W.M., Natural vibrations of a clamped-clamped arch with an open transverse crack, *Journal of Vibration and Acoustics*, 119, 145–151, 1997.
13. Cerria M.N., Rutab G.C., Detection of localised damage in plane circular arches by frequency data, *Journal of Sound and Vibration*, 270, 39–59, 2004.
14. Nobile L., Mixed mode crack growth in curved beams with radial edge crack, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 36, 61-72, 2001.
15. Gdoutos E.E., *Fracture mechanics: Solid mechanics and its applications*, v 14., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.
16. Yang X.F., Swamidas, A.S.J. and Seshadri R., Crack identification in vibrating beams using the energy method, *Journal of Sound and Vibration*, 244 (2), 339-357, 2001.
17. Özyiğit H.A., Tekelioğlu M. and Öz H.R., Linear forced in-plane and out-of-plane vibrations of frames having a curved member, *Mathematical and Computational Applications*, 9 (3), 371-380, 2004.
18. Petyt M., *Introduction to finite element vibration analysis*, Cambridge University Press, U.K., 1990.
19. Öz H. R. and Daş M. T. In-Plane Vibrations Of Circular Curved Beams With A Transverse Open Crack, *Mathematical and Computational Applications*, 11 (1), 1-10, 2006.
20. Öz H. R. and Daş M. T., Çatlak Eğri Kirişlerin Titreşimi, *12.Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu Bil. Kit.*, 113-120, Kayseri, Türkiye, 2005.
21. Orhan S., Analysis of free and forced vibration of a cracked cantilever beam, *NDT&E International*, 40, 443–450, 2007.
22. Gültop T., Yılmaz C.M ve Alyavuz B., An analytical investigation of rigid plastic beams under impact loading, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (1), 87-94, 2015.
23. Toygar E., Kırıl Z., Sayman O., Arman Y. ve Özen M., Effect of interface on lateral buckling behavior and free vibration response composite of sandwich composite beam, *Journal of Composite Material*, 47 (15), 1843-51, 2013.
24. Okutan B.B., Free vibration analysis of curved sandwich beams with face/core debond using theory and experiment, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 19 (5), 350-359, 2012.
25. Yang, X. F., Swamidas A. S. J., and Seshadri R., Crack identification in vibrating beams using the energy method. *Journal of Sound and Vibration*, 244 (2), 339-357, 2001.
26. Meshram, N. A., and Vaibhav S. P., Analysis of Crack Detection of A Cantilever Beam using Finite Element Analysis, *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4 (4), 2015.

