

Kompozit Kolon Elemanların Modal Davranışlarının Belirlenmesi

Barış SEVİM^{*1}, Ahmet Can ALTUNIŞIK²,

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Makale Gönderme Tarihi: 11.02.2016

Makale Kabul Tarihi: 02.11.2016

Öz

Bu çalışmada, kompozit kolonların modal davranışları analitik olarak belirlenmiştir. Bu amaçla literatürde ve uygulamada yaygın olarak kullanılan sekiz farklı kesite ve sabit yüksekliğe sahip bir kompozit kolon belirlenerek ANSYS sonlu eleman yazılımında üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerdeki sonlu eleman ağırları sonuçlar üzerinde doğrudan etkili olacağından, analizlere başlamadan önce seçilen bir kesit için farklı sonlu eleman ağırları oluşturularak serbest titreşim analizleri gerçekleştirilmiş ve ideal olduğu düşünülen bir ağ modeline karar verilmiştir. Benzer eleman sayıları kullanılarak oluşturulan sekiz farklı model analiz edilerek doğal frekansları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Elde edilen dinamik karakteristikler birbirleriyle kıyaslanarak tablo ve grafikler halinde sunulmuştur. Farklı kompozit kesitler için gerekli yorumlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik karakteristik, Kompozit kolon kesiti, Modal davranış, Sonlu eleman modeli, Serbest titreşim analizi

Giriş

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, günümüzde inşaat sektörü de hızla ilerlemektedir. Geçmişte ahşap ve taş kullanılarak inşa edilen binalar, artık betonarme ve çelik malzeme ile çerçeve, perde, çekirdek, tüp veya karışık taşıyıcı sistemler kullanılarak inşa edilmeye başlanmıştır. Emniyetli ve ekonomik mühendislik yapıları inşa etmek isteyen insanoğlu, özellikle büyük şehirlerdeki alan sıkıntısından dolayı binaları; oturma alanı geniş ve az katlı yapmaktansa, oturma alanları dar fakat yüksek yapılar inşa etme eğilimine gitmektedir. Yukarıda bahsedilen taşıyıcı sistemler, yapılacak binanın yüksekliğine ve kullanım amacına göre tercih edilmektedir. Son yıllarda ise beton ve çeliğin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan kompozit sistemler hem emniyetli, hem ekonomik hem de yüksek yapı inşa etmeye izin verecek türdendir. Her iki malzemenin ortak kullanılması ile üretilen kompozit eleman veya sistemler mühendislik yapılarında oldukça fazla dayanım, rijitlik, süneklik ve dayanıklılık sağlamaktadır (Sakino vd., 2004; Chen vd., 2008; Karimi vd., 2011; Patidar, 2012; Liu, 2013; Fakharifar vd., 2014; Aşel ve Abbas, 2015).

Günümüzde, çelik tüplerin içine beton doldurularak veya beton içerisine çelik profiller yerleştirilerek inşa edilen kompozit kolonlar, geleneksel olarak tabir ettiğimiz betonarme kolonlara göre ekonomik ve hızlı bir şekilde üretilmektedir. Kompozit kolonlar, yüksek eksenel yük taşıma ve enerji yutma kapasitesine sahip olması, daha fazla dayanım ve süneklik göstermesi nedeniyle geleneksel kolonlara göre daha tercih edilir hale gelmiştir. Ayrıca, kompozit kolonların en önemli yapısal avantajlarından biri, çelik tüplerin betonu sararak üç eksenli gerilme halinde davranması, betonun ise çelik tüpe kalkan olarak içe doğru burkulmasını önlemesidir. (Patidar, 2012; Liu, 2013; Essopjee ve Dundu, 2015).

Aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer alan Ülkemizde, depreme dayanıklı yapı tasarımı

vazgeçilmez bir gerçektir. Bu bakımdan inşa edilen tüm mühendislik yapıları yönetmeliklerin öngördüğü tasarım kriterlerini sağlamak zorundadır. Aksi halde büyük depremlerde meydana gelecek inşaat hasarlarının büyük can ve mal kayıplarına yol açacağı aşikardır. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi verilerine göre, 1939 yılında meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki Erzincan Depremi'nde 32968 insanımız hayatını kaybetmiş, 116720 bina hasar görmüştür. Yine 1999 yılında meydana gelen yüzey dalgası büyüklüğü 7.8 olan Kocaeli Depremi'nde 17480 insan vefat etmiş, 73342 bina hasar görmüştür. Benzer şekilde 2011 yılında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki Van Depremi'nde 644 kişi ölmüş ve 17005 bina hasara uğramıştır (Url-1). Yukarıda çeşitli rakamlar vererek açıklanmaya çalışılan deprem olgusu, üzerinde ne kadar önemle durulması gerektiğini göstermesi açısından çok öğreticidir. Bu sebeple Ülkemizde inşa edilecek tüm yapıların deprem davranışı dikkate alınarak tasarlanması ve bu tasarıma bağlı kalarak inşa edilmesi mutlak suretle gerekmektedir. Mühendislik yapılarının deprem davranışlarını anlayabilmek veya tahmin edebilmek için, bu yapıların doğal frekans ve periyotları ve deprem esnasında yaptıkları hareketin bir göstergesi olan mod şekilleri gibi dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir yapının deprem esnasında ne kadar süre hangi hareketi yapacağını bir göstergesi olan bu davranışa modal davranış adı verilmektedir. Bir yapının modal davranışı analitik yöntemlerle belirlenebileceği gibi, günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte mevcut bir yapı üzerinde çevresel ve zorlanmış titreşim testleri uygulayarak deneysel olarak da belirlenebilmektedir. (Bayraktar vd., 2010; Sevim vd., 2011; Sevim vd., 2012; Altunışık vd., 2013)

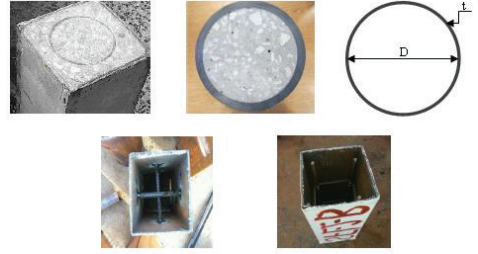
Bu çalışmada literatürde ve uygulamada sıklıkla kullanılan kompozit kolonların modal davranışları analitik olarak belirlenmektedir. Bu amaçla sekiz farklı kesite ve sabit yüksekliğe sahip bir kompozit kolon belirlenerek ANSYS

sonlu eleman yazılımında üç boyutlu modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerdeki sonlu eleman ağları, sonuçlar üzerinde doğrudan etkili olacağından, analizlere başlamadan önce seçilen bir kesit için farklı sonlu eleman ağları oluşturularak serbest titreşim analizleri gerçekleştirilmiş ve ideal olduğu düşünülen bir ağ modeline karar verilmiştir. Benzer eleman sayıları kullanılarak oluşturulan sekiz farklı model analiz edilerek doğal frekansları ve mod şekilleri belirlenmiştir. Elde edilen dinamik karakteristikler birbirleriyle kıyaslanarak farklı kompozit kesitler için gerekli yorumlar yapılmıştır.

Kompozit Kesit Türleri

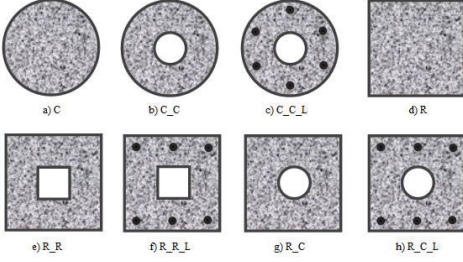
Yapılan literatür araştırmasında ve uygulamada farklı kompozit kesitlere rastlanmaktadır. Bu kesitler genellikle, dairesel ve dikdörtgen çelik tüp içerisine beton doldurularak veya beton ve betonarme içerisine çelik donatı veya profiller yerleştirilerek üretilmektedir (Şekil 1) (Liu, 2013; Fakharifar vd., 2014; Ajel ve Abbas, 2015). Şekil 1'de D, çelik tüpün çapını, t ise çelik tüpün et kalınlığını göstermektedir. İsimlendirilmeleri ise, kesitin şekline, çelik tüp çapının tüp et kalınlığına oranına, tek veya çift çelik tüp olmasına göre yapılmaktadır. Literatürde sunulan birçok çalışmada, daha çok farklı kesitlere sahip kompozit numuneler üretilerek, dış çelik tüp çapının veya boyutunun çelik tüp et kalınlığı oranına bağlı olarak tek eksenli basınç altında taşıyabilecekleri yük kapasiteleri belirlenmektedir. Örneğin, Wei vd., (1995) dairesel kesitli kompozit numuneleri içeren çalışmalarında, dış çelik tüp çapını 74.7-114.3 mm arasında, iç çelik tüp çapını ise 61.2-88.9 mm arasında ve dış çelik tüp çapının dış çelik tüp kalınlığına oranını 43-169 arasında seçerek test etmişlerdir. Sakino vd., (2004), dairesel ve dikdörtgen kesitli, farklı çelik tüp çekme dayanımına sahip, farklı çap-kalınlık oranlarına sahip ve farklı beton dayanımına sahip 114 kompozit numune üzerinde basınç testi yaparak, kompozit kolon elemanların gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerini incelemiş ve buna bağlı olarak bazı amprik bağıntılar

geliştirmiştir. Essopjee ve Dundu (2015) yaptıkları çalışmada farklı yüksekliğe sahip 32 adet dış ve iç çelik tüp kesite sahip kompozit kolonlar üzerinde yükleme testleri yapmıştır. Çalışmada dış çelik tüp çapı, dış çelik tüp et kalınlığı, dış çelik tüp dayanımı ve numune yüksekliği parametre olarak seçilmiştir. Çalışmada, boyu daha kısa olan numunelerde betonun ezilmesi ve çeliğin akması sonucu hasar oluşurken, daha fazla numune yüksekliğine sahip elemanlarda sadece burkulmaya bağlı bir hasar meydana geldiği ifade edilmiştir. Yine numune yüksekliği arttıkça, numunelerin basınç taşıma kapasitelerinin azaldığı, çelik tüp çapı arttığında ise daha fazla yük taşıma kapasitesi elde edildiği vurgulanmıştır.



Şekil 1. Farklı kompozit kesit uygulamaları

Literatürde sıklıkla kullanılan ve bu çalışmada dikkate alınan kompozit kesitler Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'deki kesitler sırasıyla incelendiğinde, Şekil 2a'da, dışı dairesel çelik tüple kaplı beton kesit (C); Şekil 2b'de, dışı ve içi dairesel çelik tüple kaplı beton kesit (C_C); Şekil 2c'de, dışı ve içi dairesel çelik tüple kaplı ve içine donatı yerleştirilmiş beton kesit (C_C_L); Şekil 2d'de, dışı dikdörtgen çelik tüple kaplı beton kesit (R); Şekil 2e'de, dışı ve içi dikdörtgen çelik tüple kaplı beton kesit (R_R); Şekil 2f'de, dışı ve içi dikdörtgen çelik tüple kaplı ve içine donatı yerleştirilmiş beton kesit (R_R_L); Şekil 2g'de, dışı dikdörtgen, içi dairesel çelik tüple kaplı beton kesit (R_C); Şekil 2h'de ise, dışı dikdörtgen, içi dairesel çelik tüple kaplı ve içine donatı yerleştirilmiş beton kesit (R_C_L) şeklindedir.



Şekil 2. Literatürde sıklıkla kullanılan ve bu çalışmada dikkate alınan kompozit kesitler

Modal Davranış

Bir mühendislik yapısının modal davranışı, o yapının doğal frekansları ve mod şekilleri gibi dinamik karakteristiklerini içermektedir. Bu karakteristikler aşağıda verilen sönümsüz hareket denklemi kullanılarak belirlenmektedir.

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{0\} \quad (1)$$

Burada, $[M]$ ve $[K]$, sırasıyla kütle ve rijitlik matrislerini, $\{\ddot{x}(t)\}$ ve $\{x(t)\}$ zamana bağlı ivme ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir. Bu denklemin çözümünden serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısıl frekans $(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)$ elde edilir. Her bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu

şekil mod şekli olarak tanımlanır. Doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli birinci mod şekli olarak adlandırılır (Petyt, 1990; Chopra, 2006).

Sayısal Uygulama

Kompozit Kolon Elemanların Kesit Özellikleri

Bu çalışmada sekiz farklı kesite sahip kompozit kolonun modal davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla Şekil 2'de verilen kompozit kesitler sabit yüksekliğe sahip kolon eleman olarak ANSYS sonlu eleman yazılımında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellemede kolon yüksekliği 3 m olarak seçilmiştir. Kompozit kolonlara ait diğer geometrik kesit özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de; D_D dairesel kesitli çelik tüp dış çapını, D_I dairesel kesitli çelik tüp iç çapını, A_D ve B_D dikdörtgen kesitli çelik tüpün dış ebatlarını, A_I ve B_I dikdörtgen kesitli çelik tüpün iç ebatlarını, T_D ve T_I sırasıyla çelik tüpün dış ve iç et kalınlığını, ϕ ise donatılı kesitlerdeki donatı çapını ifade etmektedir. Tüm kesitlerde literatüre de uygun olarak, çelik tüp çap veya boyutunun et kalınlığına oranı 50 olarak dikkate alınmıştır. Ayrıca, donatılı kesitlerde 6 adet 16 mm çapında donatı kullanılmıştır. Bu da ortalama % 1.35-1.90 donatı oranına karşılık gelmektedir.

Tablo 1. Kompozit kolon elemanların kesit özellikleri

BOYUTLAR (MM)	KOMPOZİT KOLON KESİTLERİ							
	C	C_C	C_C_L	R	R_R	R_R_L	R_C	R_C_L
D_D	300	300	300	-	-	-	-	-
D_I	-	100	100	-	-	-	100	100
A_D	-	-	-	300	300	300	300	300
B_D	-	-	-	300	300	300	300	300
A_I	-	-	-	-	100	100	-	-
B_I	-	-	-	-	100	100	-	-
T_D	6	6	6	6	6	6	6	6
T_I	-	2	2	-	2	2	2	2
ϕ	-	-	16	-	-	16	-	16

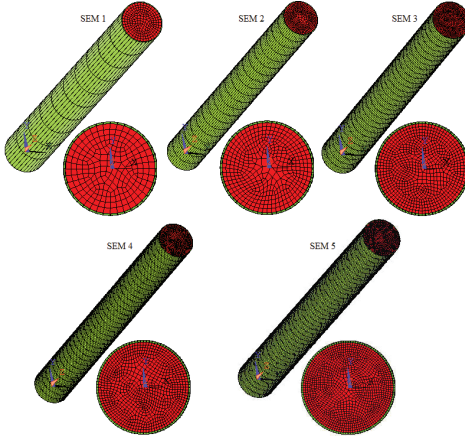
Sonlu Eleman Ağ Çalışması

Analiz sonuçlarını doğrudan etkileyeceği içi, kompozit kolonların sonlu eleman modelleri oluşturulmadan önce sadece dışı dairesel çelik tüple kaplı beton kesite (C) (Şekil 2a) sahip kolon için sonlu eleman ağ çalışması yapılmıştır. Burada amaç, doğal frekansların fazla değişmeyeceği ideal sonlu eleman

modeline karar vermektir. Bu maksatla oluşturulan beş farklı model ait eleman ve düğüm noktası sayıları Tablo 2'de, oluşturulan sonlu eleman ağları Şekil 3'te verilmektedir. Tablo 2'de en az sonlu eleman ve düğüm noktasına sahip model SEM 1, en çok sonlu eleman ve düğüm noktasına sahip model SEM 5'tir.

Tablo 2. Kompozit kolon elemanların kesit özellikleri

ELEMAN SAYISI	SONLU ELEMAN MODELİ (SEM)				
	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5
SOLID65	2150	8300	22920	29750	49960
SHELL181	400	1200	2520	3500	4800
DÜĞÜM NOKTASI SAYISI	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5
	2585	9366	24955	32400	53710



Şekil 3. C kesitine sahip kompozit kolon için oluşturulan sonlu eleman ağları

Beş farklı sonlu eleman ağı için yapılan serbest titreşim analizinden elde edilen doğal frekanslar ve frekansların değişim oranları Tablo 3'te verilmektedir. Tablo 3 incelendiğinde, en zayıf sonlu eleman ağına sahip model SEM 1'in modal davranışının diğer modellerle uyumlu olmadığı anlaşıldığı için doğrudan devre dışı bırakılmıştır. SEM 2'den SEM 5' e kadar olan ağlar incelendiğinde; SEM 2 ile SEM 3 arasındaki değişim, SEM 3 ile SEM 4 arasındaki değişimden çok daha fazla olmakta, SEM 3 ile SEM 4 arasındaki değişim ise SEM 4 ile SEM 5 arasındaki değişime benzerlik göstermektedir. Çıkan sonuçlara göre, analitik sonuçlara yakın sonuç verecek model olarak, SEM 3'ün diğerlerine göre daha tercih edilebilir olduğu kanaati getirilmiştir. Buna bağlı olarak, bu çalışma kapsamında hazırlanan sekiz farklı kompozit kolon oluşturulurken SEM 3'deki sonlu eleman ve düğüm noktası sayılarına benzer modeller tercih edilmiştir.

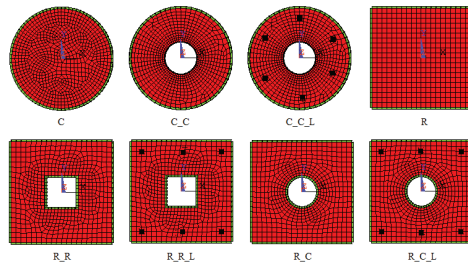
Tablo 3. Beş farklı sonlu eleman ağı için elde edilen frekanslar ve değişimleri

FREKANS (HZ)	SONLU ELEMAN AĞI									
	SEM 1	DEĞİŞİM %	SEM 2	DEĞİŞİM %	SEM 3	DEĞİŞİM %	SEM 4	DEĞİŞİM %	SEM 5	
1	40.022	0.27	40.131	0.29	40.246	0.12	40.293	0.10	40.332	
2	40.022	0.27	40.131	0.29	40.247	0.12	40.293	0.10	40.332	
3	206.72	-	222.36	1.15	224.92	0.53	226.11	0.46	227.16	
4	222.85	0.22	222.36	1.15	224.92	0.53	226.12	0.46	227.16	
5	222.85	-	251.15	15.5	290.03	5.69	306.55	4.72	321.02	
6	401.56	0.18	400.85	0.03	400.71	0.00	400.68	0.00	400.66	
7	556.92	2.26	544.30	1.60	553.02	0.84	557.67	0.76	561.89	
8	556.92	2.26	544.31	1.60	553.02	0.84	557.67	0.76	561.89	
9	636.14	18.9	756.55	15.0	870.26	5.59	918.96	4.65	961.68	
10	988.51	5.87	930.50	1.62	945.59	1.02	955.31	0.96	964.45	
11	988.51	5.87	930.50	1.62	945.60	1.02	955.31	0.96	964.45	
	ORT. DEĞİŞİM	-	ORT. DEĞİŞİM	3.62	ORT. DEĞİŞİM	1.48	ORT. DEĞİŞİM	1.27		

Kompozit Kolon Elemanların Sonlu Eleman Modelleri

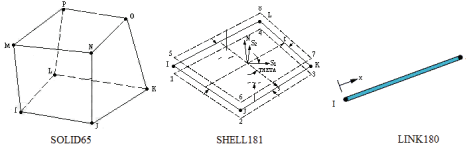
Bu çalışmada, Şekil 2'de verilen sekiz farklı kesit 3 m yüksekliğe sahip olacak şekilde kompozit kolon olarak ANSYS sonlu eleman yazılımı ile oluşturulmuştur. Oluşturulan her bir modelin üstten görünüşü Şekil 4'te verilmektedir. Her bir modelde, beton SOLID65 katı elemanıya, çelik tüpler SHELL181 kabuk elemanıya, donatılar ise LINK180 çubuk elemanıya temsil edilmiştir. Bu elemanlardan beton malzeme için kullanılan SÖID65, çekmede çatlama, basınçta ezilme özelliğine sahip, çubuk elemanlarla modellemeye izin veren bir elemandır. SOLID65 elemanı 8 düğüm noktasına ve her bir düğüm noktasında üç global eksen doğrultusunda yerdeğiştirme serbestliğine sahiptir (Şekil 5). Bu bakımdan betonun modellenmesinde literatürde sıklıkla kullanılmaktadır (ANSYS, 2016). Çelik tüpler için kullanılan SHELL181, dört düğüm noktalı ve her bir düğüm noktasında altı serbestliği olan bir elemandır (Şekil 5). SHELL181 elemanı ince kabuk elemanların modellenmesinde

uygun olup, doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde kullanılabilen bir elemandır (ANSYS, 2016). Donatının modellenmesinde kullanılan LINK180, iki düğüm noktalı ve her bir düğüm noktasında üç yerdeğiştirme serbestliğine sahiptir (Şekil 5). LINK180 elemanı hem çekme hem de basınç özelliği taşıdığından, kafes, kablo, yay veya donatı gibi elemanların modellenmesinde kullanılmaktadır (ANSYS, 2016). Her bir kompozit kolon sonlu eleman modelinde kullanılan eleman ve düğüm noktası sayısı Tablo 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Farklı kesitlere sahip kompozit kolonların sonlu eleman modelleri

Kompozit Kolon Elemanların Modal Davranışlarının Belirlenmesi



Şekil 5. Kompozit kolonların modellenmesinde kullanılan sonlu elemanlar

Çalışma kapsamında oluşturulan tüm modellerde sadece farklı kesitlerin davranışını görebilmek için malzeme değiştirilmemiş ve tüm modellerde aynı malzeme özellikleri kullanılmıştır. Modellerde, beton, çelik tüp ve donatı kullanılmış olup tüm modeller için kullanılan malzeme özellikleri Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 4. Kompozit kolonların sonlu eleman modellerine ait eleman ve düğüm noktası sayısı

ELEMEN SAYISI	SEM							
	C	C_C	C_C_L	R	R_R	R_R_L	R_C	R_C_L
SOLID65	22920	21270	21270	20000	19874	19874	20102	20102
SHEL181	2520	3600	3600	4000	4560	4560	4560	4560
LINK180	-	-	180	-	-	228	-	228

DÜĞÜM NOKTASI SAYISI	SEM							
	C	C_C	C_C_L	R	R_R	R_R_L	R_C	R_C_L
	24955	23839	23839	22491	22737	22737	22971	22971

Tablo 5. Kompozit kolon sonlu eleman modellerinde kullanılan malzeme özellikleri

MALZEME	MALZEME MODELI	MALZEME ÖZELLİKLERİ		
		ELASTİSİTE MODÜLÜ (N/M ²)	POISSON ORANI	YOĞUNLUK (KG/M ³)
BETON	SOLID65	3.0E10	0.2	2400
ÇELİK PLAKA	SHELL181	2.0E11	0.3	7850
DONATI	LINK180	2.1E11	0.3	-

Kompozit Kolon Elemanların Dinamik Karakteristikleri

ANSYS (2016) sonlu eleman yazılımı ile oluşturulan her bir kompozit kolonun dinamik karakteristiklerini elde etmek için modal analizi gerçekleştirilmiş ve her bir modelin doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiştir. Tablo 6'da her bir model için elde edilen ilk on bir doğal frekans ve mod şekli verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde, seçilen kesitler X ve Y yönlerinde eşdeğer ve simetrik olduğu için her iki yöndeki eğilme modları da simetrik ve eşdeğer frekanslara sahiptir. İçi boş dairesel

kompozit kolonun (C_C modeli) her bir eğilme moduna karşılık gelen doğal frekansı içi dolu dairesel kompozit kolonun (C modeli) her bir eğilme moduna karşılık gelen doğal frekanstan yaklaşık % 10 daha küçüktür. Bu da içi boş dairesel kesitli kolonun (C_C modeli), içi dolu dairesel kesitli kolona (C modeli) göre % 10 daha esnek olduğunu göstermektedir. İçi boş dairesel kesitli donatılı kolonun davranışı (C_C_L modeli) ise 4. eğilme modu hariç, içi boş dairesel kesitli kolona (C_C modeli) yakın çıktığı anlaşılmaktadır. Benzer durum dikdörtgen kesitli kompozit kolonlar için de

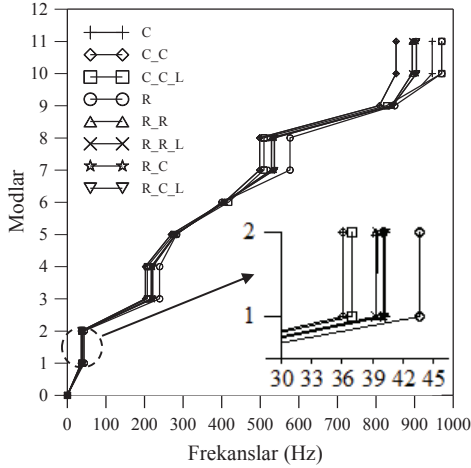
geçerlidir. Diğer taraftan, dikdörtgen kesitli kompozit kolonlar (R, R_R, R_R_L modelleri), dairesel kesitli kolonlarla (C, C_C, C_C_L modelleri) kıyaslandığında, dikdörtgen kesitli kolonların özellikle eğilme modlarının dairesel kesitli kolonlara göre % 8-10 daha fazla olduğu, buradan da dikdörtgen kolonların daha rijit olduğu ifade edilebilir. İçi dairesel kesitli dikdörtgen kolonların (R_C, R_C_L modelleri) davranışlarının ise içi ve dışı dikdörtgen kesitli kolonlarla (R_R, R_R_L modelleri) benzer olduğu görülmektedir. Frekanslardaki değişimlerin daha iyi anlaşılması açısından her bir model için elde edilen frekansların grafik gösterimi Şekil 6'da verilmektedir.

Tablo 6, mod şekilleri açısından incelendiğinde, her bir modelde ilk dört modun X ve Y yatay doğrultulardaki eğilme modları, beş ve altıncı modların ise düşey doğrultudaki burulma modları olduğu anlaşılmaktadır. Burulma modlar yapılar da önemli hasarlara neden olabileceğinden genellikle ilk modlarda ortaya

çıkmaları istenmez. Bu bakımdan tüm modeller için öncelikle yatay eğilme modlarının oluşması, ileri dinamik davranış açısından daha tercih edilebilirdir. X ve Y doğrultusundaki benzer modların çok yakın doğal frekanslara sahip olması, modellerin simetrik ve her iki doğrultuda da çok yakın rijitliğe sahip olduğunun göstergesidir. Mod şekillerinin daha iyi anlaşılabilmesi için içi dolu dikdörtgen kesitli modele (R modeli) ait ilk on bir mod şekli Şekil 7'de verilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde birinci modun X yönü 1. eğilme modu, ikinci modun Y yönü 1. eğilme modu, üçüncü modun X yönü 2. eğilme, dördüncü modun Y yönü 2. eğilme modu olduğu anlaşılmaktadır. Beşinci ve altıncı modların 1. ve 2. burulma modları, yedinci ve sekizinci modun ise sırasıyla X yönü 3. eğilme modu ve Y yönü 3. eğilme modu olduğu anlaşılmaktadır. Dokuzuncu modun 3. burulma modu, onuncu ve on birinci modların ise sırasıyla X ve Y yönü 4. eğilme modları olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Kompozit kolonların doğal frekansları ve mod şekilleri

FREKANS (Hz)	SEM								MOD ŞEKLİ
	C	C_C	C_C_L	R	R_R	R_R_L	R_C	R_C_L	
1	40.25	36.114	37.04	43.67	39.35	39.42	40.08	40.15	1. YATAY EĞİLME X
2	40.25	36.115	37.04	43.67	39.35	39.46	40.08	40.19	1. YATAY EĞİLME Y
3	224.92	202.43	207.27	238.98	217.41	217.72	221.00	221.31	2. YATAY EĞİLME X
4	224.92	202.43	207.27	238.98	217.41	217.86	221.00	221.46	2. YATAY EĞİLME Y
5	290.03	269.47	275.80	283.14	280.38	280.38	281.37	281.37	1. BURULMA
6	400.71	406.63	417.83	400.52	406.51	408.00	405.44	407.01	2. BURULMA
7	553.02	498.41	509.55	577.03	528.77	529.32	536.36	536.91	3. YATAY EĞİLME X
8	553.02	498.41	509.56	577.03	528.77	529.54	536.36	537.13	3. YATAY EĞİLME Y
9	870.26	808.72	827.70	848.38	840.18	840.18	843.25	843.25	3. BURULMA
10	945.59	852.08	969.97	970.01	893.56	894.20	904.31	904.95	4. YATAY EĞİLME X
11	945.60	852.08	969.99	970.01	893.56	894.41	904.31	905.16	4. YATAY EĞİLME Y



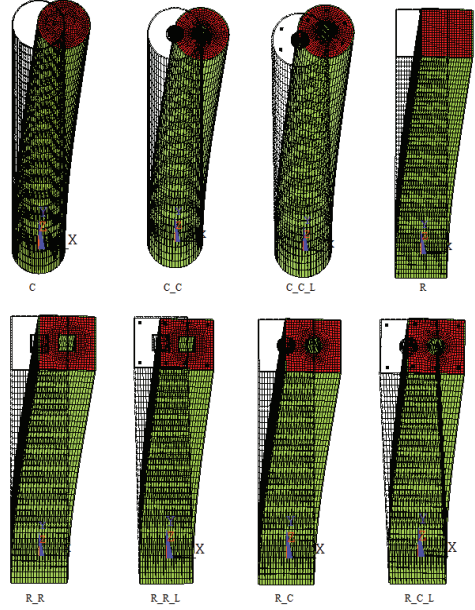
Şekil 6. Farklı kompozit kolonlar için elde edilen frekansların değişimi



Şekil 7. İçi dolu dikdörtgen kesitli kompozit kolona (R modeli) ait ilk on bir mod şekli

Her bir kompozit kolon için elde edilen ilk on bir mod şeklinin birbirine benzer olduğu, yani olası bir deprem esnasında benzer davranışı sergileyecekleri yukarıda ifade edilmiş ve ilk on bir mod şekli içi dolu dikdörtgen kesite sahip kompozit kolon (R modeli) için Şekil 7'de sunulmuştur. Bu sebeple Şekil 8'de sadece her bir model için elde edilen birinci mod şekli (X

yönü 1. yatay eğilme modu) görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 8. Her bir kompozit kolon sonlu eleman modeline ait birinci mod şekli

Sonuçlar

Bu çalışmada kompozit kolonların modal davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla literatür ve uygulamada yaygın olarak kullanılan sekiz farklı kompozit kesite sahip kolon ANSYS sonlu eleman yazılımı ile üç boyutlu olarak modellenmiş ve dinamik karakteristikleri modal analizler gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Analizlerden elde edilen ilk on bir doğal frekans tüm modelleri kapsayacak şekilde 36-945 Hz arasında değişmektedir.
- ✓ Analizlerden elde edilen ilk iki frekansın tüm modeller için X ve Y yönündeki yatay

birinci eğilme modu olduğu ve 36-44 Hz arasında değiştiği tespit edilmiştir. Üçüncü ve dördüncü doğal frekansların ise 207-225 Hz arasında X ve Y yönlerindeki ikinci eğilme modları olduğu görülmektedir. 3 m yüksekliğe sahip yaklaşık 30 cm çapından oluşan kolonlar için elde edilen X ve Y yönündeki ilk iki frekans değerlerine göre, kompozit kolonların geleneksel kolonlara göre daha rijit olduğu anlaşılmaktadır.

✓ Analizlerden elde edilen yatay eğilme modlarının ve frekansların X ve Y yönünde benzerlik göstermesi, kompozit kolonların her iki yatay doğrultuda da yakın rijitliğe sahip olduğunun bir göstergesidir.

✓ Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, içi boş dairesel kompozit kolonun (C_C modeli) her bir eğilme moduna karşılık gelen doğal frekansı, içi dolu dairesel kompozit kolonun (C modeli) her bir eğilme moduna karşılık gelen doğal frekansından yaklaşık % 10 daha küçüktür. Bu da içi boş dairesel kesitli kolonun (C_C modeli), içi dolu dairesel kesitli kolona (C modeli) göre % 10 daha esnek olduğunu göstermektedir. Benzer durum dikdörtgen kesitli kompozit kolonlar için de geçerlidir.

✓ Donatılı kompozit kolonların davranışı, donatısız kompozit kolonlara göre çok fazla değişmemektedir. Bu durum kompozit kolonlarda kullanılan donatının dinamik davranış üzerinde çok fazla katkısının olmadığını gösterse de daha kesin bir görüş için ileri dinamik analizlerin gerçekleştirilmesinde yarar vardır.

✓ Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, dikdörtgen kesitli kompozit kolonlar (R, R_R, R_R_L modelleri), dairesel kesitli kolonlarla (C, C_C, C_C_L modelleri) kıyaslandığında, dikdörtgen kesitli kolonların özellikle eğilme modlarının dairesel kesitli kolonlara göre % 8-10 daha fazla olduğu, buradan da dikdörtgen kolonların daha rijit olduğu anlaşılmaktadır.

✓ Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, içi dairesel kesitli dikdörtgen kolonların (R_C,

R_C_L modelleri) davranışlarının, içi ve dışı dikdörtgen kesitli kolonlarla (R_R, R_R_L modelleri) benzer olduğu görülmektedir.

✓ Bu çalışmada kapsamına konu olan kompozit kolonlar, seçilen eleman boyutları, kesit özellikleri ve malzeme özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Dolayısıyla bu konuda daha genel bilgi verebilmek için çok daha fazla analize ve sistem bazında yapılacak modellemelere ve deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- Ajel, H.A., Abbas, A.M., (2015). Experimental and Analytical Investigations of Composite Stub Columns. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4(2); 185-200.
- Altunışık, A.C., Bayraktar, A., Sevim, B., (2013). Analytical and Experimental Modal Analyses of A Highway Bridge Model, Computers and Concrete, 12(6), 803-818.
- ANSYS, (2016). Swanson Analysis System, USA.
- Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Sevim, B., Türker, T., 2010. Earthquake Behaviour of Kömürhan Highway Bridge using Validated Finite Element Model, Journal of Testing and Evaluation, 38(4), 467-481.
- Chen, Z., Lei, J., Zheng, Z., (2008). Research on CCRST Columns used in Seismic Regions. The 14 th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China.
- Chopra, A.K., (2006). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Third Edition, Prentice Hall, USA.
- Essopjee, Y., Dundu Y.M., (2015). Performance of concrete-filled double-skin circular tubes in compression, Composite Structures 133; 1276-1283.
- Fakharifar, M., Chen, G., Lin, Z., Woolsey, Z.T., (2014). Behavior and Strength of Passively Confined Concrete Filled Tubes. Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, Anchorage.
- Karimi, K., Tait, M.J., El-Dakhkhni, W.W., (2011). Testing and modeling of a novel FRP-encased steel-concrete composite column, Composite Structures 93, 1463-1473.

- Liu, J. (2013). Neural Networks Method Applied to The Property Study of Steel-Concrete Composite Columns Under Axial Compression, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 6(2), 548-566.
- Patidar, A.K., 2012. Behaviour of Concrete Filled Rectangular Steel Tube Column. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering 4(2); 46-52.
- Petyt, M., (1990). Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Pres, Cambridge.
- Sakino, K., Nakahara, H., morino, S., Nishiyama, I., (2004). Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns. J. Struct. Eng., 130(2): 180-188.
- Sevim, B., Altunışık, A.C., Bayraktar, A., (2012). Earthquake Behavior of Berke Arch Dam using Ambient Vibration Test Results, Journal of Performance of Constructed Facilities ASCE, 26, 780-792.
- Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Atamtürkür, S., Birinci, F., (2011). Finite Element Model Calibration Effects on the Earthquake Response of Masonry Arch Bridges, Finite Elements in Analysis and Design, 47(7), 621-634.
- URL-1., 2016. (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>)
- Wei S, Mau ST, Vipulanandan C, Mantrala SK, (1995). Performance of Newsandwich Tube under Axial Loading: Experiment, Journal Structural Engineering 121 (12):1806–14.

Determination of Modal Responses of Composite Column Elements

Extended Abstract

Many structures built in the past was made of wood and stone. But timely, new materials are developed such as reinforced concrete and steel. This provides strength and safety structures. However, composite elements are started to use to build more economic, safer, more ductility and taller structures. A composite element is generally defined as usage of steel and concrete together. In a composite element, concrete core is covered with steel tubes, or a steel profile is replaced to a concrete volume.

Nowadays in the world and especially in Turkey, many high-rise building started to build. However, Turkey is placed on an active fault which was produced huge earthquakes in the past. So these high-rise buildings have to be designed against to huge earthquakes. The earthquake behavior of the structures is related to modal responses of the structures. Modal responses of the structures contains of dynamic characteristics of structures such as natural frequencies and mode shapes.

According to literature review and practices, in a composite element, steel covers the concrete and this makes to response of concrete as a compression in three directions; and concrete prevent to steel to inward buckling. So the axial loading capacity of the element is increased, also rigidity and ductility of the element are increased. This makes the composite elements more preferable in construction of the buildings.

In the literature it is seen that there are several composite element section typ. In this study, modal responses of composite columns are investigated. For the purpose, a composite column with eight different section but the same height are selected which are commonly used in literature and practice and 3D modeled in ANSYS software. Before starting analyses, a ideal finite element mesh model is examined for a composite column performing free vibration analyses, and other models are constituted similar numbers of finite elements and nodes with the ideal finite element mesh model. Free vibration analyses of all models are performed and natural frequencies and mode shapes are obtained. The dynamic characteristics are compared to each model and presents as tables and graphs. Also, the

comments for different composite columns are presented in the study.

The eight different composite sections subjected to numerical example are defined as;

C Model: Concrete-filled one-skin steel circular tube (Figure 2a),

C_C Model: Concrete-filled double-skin steel circular tube (Figure 2b),

C_C_L Model: Reinforced concrete-filled double-skin steel circular tube (Figure 2c),

R Model: Concrete-filled one-skin steel rectangular tube (Figure 2d),

R_R Model: Concrete-filled double- skin steel rectangular tube (Figure 2e),

R_R_L Model: Reinforced concrete-filled double-skin steel rectangular tube (Figure 2f),

R_C Model: Concrete filled double-skin steel circular tube (Figure 2g),

R_C_L Model: Reinforced concrete filled double-skin steel circular tube (Figure 2h),

The all section types are 3D modeled as a composite column in ANSYS finite element software (See Figure 4) and free vibration analyses are performed. The natural frequencies and mode shapes are presented in Table 6 and Figures 7 and 8. According to analyses results, first eleven natural frequencies are changed between 36-945 Hz. The mode shapes are obtained as lateral bending modes in X, Y directions and torsion modes in vertical direction. Compared to models, it is seen that the natural frequencies of C_C model is lower than these of C model. However the natural frequencies of C_C_L model similar to these of C_C model. This shows that the C model has %10 more rigidity than C_C and C_C_L models. Similar results obtained for R, R_R and R_R_L models compared to each other. On the other hand, circular composite columns have % 8-10 more flexibility than rectangular composite columns (R, R_R, R_R_L models). But the reinforced composite columns (R_C, R_C_L models) behave similarly as other composite columns ((R_R, R_R_L models)

Keywords: Composite column section, Dynamic characteristic, Finite element model, Free vibration analysis, Modal response