



Papers Produced from Turkish Articles and PhD Theses Presented at
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Yıldız Technical University
Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkçe Makaleler ve Fen Bilimleri Enstitüsü
Doktora Tezi Kapsamında Hazırlanan Yayın



Research Article / Araştırma Makalesi

**INVESTIGATING THE EFFECT OF MODELING APPROACHES ON
EARTHQUAKE BEHAVIOR OF HISTORICAL MASONRY MINARETS -
BURSA GRAND MOSQUE CASE STUDY**

Özge MUTLU*, Abdurrahman ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esenler-İSTANBUL

Received/Geliş: 13.10.2015 Accepted/Kabul: 18.01.2016

ABSTRACT

Earthquakes are considerable threats to historically and culturally significant buildings in Turkey, with its active tectonics and seismicity. Because of this, special care has to be taken for the protection and preservation of these structures against earthquakes for generations to come. Minarets are sensitive to strong winds along with earthquakes because of their slenderness. So, it is important to investigate behaviours of old and historically significant minarets under seismic forces. As an example of investigation and analysis of these structures subject to earthquake forces with the use of different structural modeling approaches, the eastern minaret of "The Grand Mosque" in Bursa, Turkey has been modeled in Sap2000 structural analysis software with the use of finite element method. Four different finite element models were produced for the analysis of this minaret and the modal analysis of all of them were carried out. With the use of acceleration data records taken during Kocaeli (1999) earthquake from the seismometer station closest to Bursa Grand Mosque, detailed seismic performance analyses were carried out in accordance with the four separate models. These separate analyses were used to investigate the differences of structural behaviour between different structural modeling approaches.

Keywords: Historical structures, minaret, earthquake analysis, modeling approaches.

**TARİHİ YIĞMA MİNARELERİN MODELLEME YAKLAŞIMLARININ DEPREM DAVRANIŞINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ – BURSA ULUCAMI ÖRNEĞİ**

ÖZ

Deprem ülkemizdeki tarihi ve kültürel birçok zenginliği tehdit etmektedir. Bu nedenle ülkemizdeki tarihi yapıların depreme karşı korunarak, gelecek kuşaklara özellikleri bozulmadan aktarılabilmesi gerekmektedir. Minareler, geometrik yapıları itibarı ile deprem ve rüzgâr gibi dinamik etkilere karşı narin yapılardır. Bu nedenle tarihi minarelerin deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi önem arz etmektedir. Tarihi yapıların modelleme yaklaşımlarının deprem davranışına etkisinin değerlendirilmesi amacı ile Bursa Ulu Camii'nin doğu minaresinin 4 farklı modeli oluşturulmuştur. Modeller sonlu elemanlar yöntemi ile Sap 2000 yapısal analiz programında oluşturularak analizleri yapılmıştır. Öncelikle yapıların modal analizleri yapılarak mod şekilleri belirlenmiştir. Daha sonra 1999 Kocaeli Depremi'nin Bursa Tofaş istasyonundan alınmış olan ivme kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarının karşılaştırmaları yapılarak, minarelerin deprem etkisi altındaki dinamik performansları ile modellemede göz önüne alınan yaklaşımların yapısal davranışa olan etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tarihi yapılar, minare, deprem analizi, modelleme yaklaşımları.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: ozgemutlu91@gmail.com, tel: (536) 454 93 58

1. GİRİŞ

Ülkemizde meydana gelen depremlerde, hasar gören yapılar arasında minareler önemli bir yer tutmaktadırlar. Özellikle narin ve yüksek yapıları sebebi ile rüzgâr ve deprem gibi dinamik etkilere karşı oldukça duyarlı olan minarelerin, deprem davranışlarının sayısal olarak değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Minarelerin yapısal davranışlarının değerlendirilmesinde farklı modelleme yaklaşımları üzerine birtakım çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda betonarme minarelerin [1] yanı sıra tarihi minarelerin [2] dinamik davranışları alternatif modelleme yaklaşımları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapısal modellemede yapılan kabullerin yanı sıra, farklı eleman türlerinin modellemede kullanılması yoluna gidilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yapısal davranışa olan etkileri incelenmiştir. Bunun yanında, minarelerden ivmeölçerler ile titreşim kayıtları alınarak dinamik karakteristikleri belirlenmiş ve sayısal modeller deneysel modeller ile karşılaştırılarak model iyileştirme yapıldıktan sonra deprem analizleri yapılmıştır [3-5]. Sonlu elemanlar yönteminin yanında, ayrık elemanlar yöntemi kullanılarak da minarelerin deprem davranışları incelenmiş ve yıkılma mekanizmaları elde edilmiştir [6].

Tarihi minareler incelendiğinde, Osmanlı dönemine ait minarelerde yığma bir dairesel tüp içinde bir çekirdek yapısının yer aldığı görülmektedir. Dışarıdaki dairesel tüp ile çekirdek sistem genellikle dairesel merdiven sistemi ile birbirlerine bağlanırlar. Bu merdiven sistemi, tek sıralı olabildiği gibi, bazı durumlarda iki ve üç sıralı da olabilmektedirler. Bu merdivenler birbirlerinden bağımsız olarak kullanılmakta ve herhangi bir kesişme durumu olmamaktadır. Osmanlı döneminden günümüze ulaşan minareler mimari açıdan, temel, kaide, papuç, gövde, şerefe, petek, külah, âlem ve merdiven gibi elemanlardan meydana gelmektedirler. Yapısal modellemelerde, bu elemanların sistem davranışına etkisi değerlendirilecektir.

2. BURSA ULUCAMI TARİHÇESİ VE MİMARİ ÖZELLİKLERİ

Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğü'ne ait olan Ulu Camii, Osmanlı Devletinin dördüncü hükümdarı olan Yıldırım Beyazıt tarafından 1396-1399 yılları arasında yapılmıştır. Ulu Camii'nin kuzey köşelerinde Şekil 1'de görüldüğü gibi birer şerefeli iki tane yüksek minare yer almaktadır.



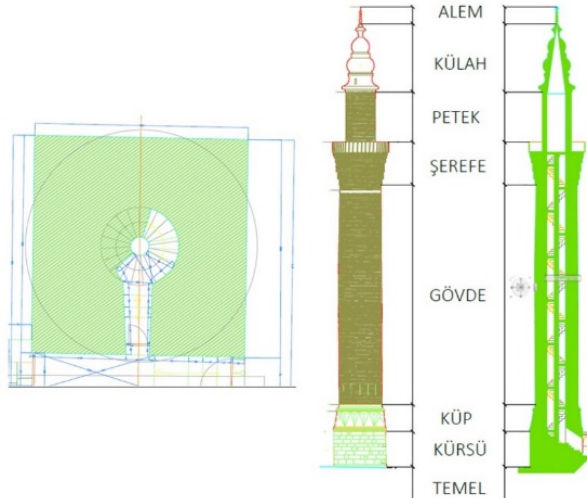
Şekil 1. Bursa Ulucami ve minareleri [7]



Şekil 2. Bursa Ulucami doğu minare görüntüsü

Batu köşesindeki sekizgen kürsülü olan minare 1. Beyazıt tarafından yaptırılmıştır. Çelebi Mehmet tarafından Fetret Devri'nden sonra yaptırılan doğu minaresi ise kare kürsülü olup beden duvarından yaklaşık 1 metre ayrıktır. Bu çalışmada, Şekil 2'de görülen ve camiden 1 metre ayrıktır olarak yaptırılmış olan doğu minaresinin, farklı modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin deprem

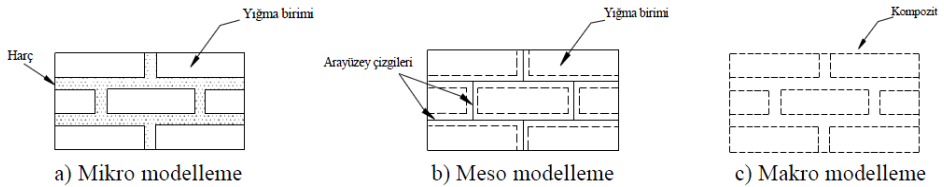
performansları değerlendirilmiştir. Doğu minaresinin planı, cephe görünüşleri ve yapısal kısımları Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. Bursa Ulucami doğu minare planı

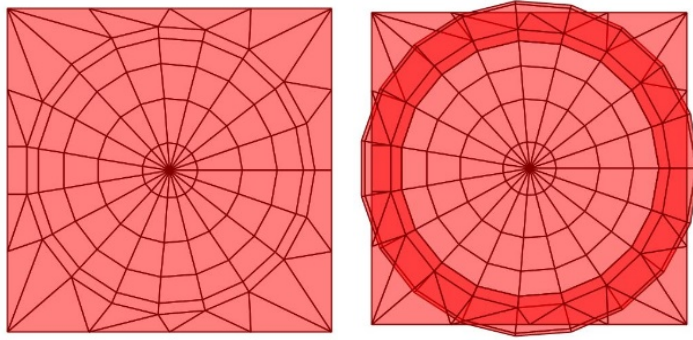
3. FARKLI YAKLAŞIMLAR İÇİN YAPISAL MODELLER

Yığma yapıların modelleme yöntemleri; mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme (meso modelleme) ve makro modelleme olarak üç gruba ayrılmaktadır. Mikro modelleme yönteminde; yığma duvarı oluşturan yığma birimi ve harcın malzeme özellikleri ayrı ayrı değerlendirilir. Basitleştirilmiş mikro modelleme yönteminde (meso modelleme) yığma birimler harç tabakasının kalınlığının yarısı kadar genişletilerek harç tabakası ihmal edilmekte ve yığma birimler birbirlerinden ara yüzey çizgileriyle ayrılmaktadır. Makro modelleme ise taş, tuğla vb. birimler ve harç arasında ayırım yapmaksızın, yapı elemanını kompozit olarak kabul eden ve bu malzemelerin ortak özelliğini yansıtan eşdeğer bir malzeme modelidir [8]. Minareler modellenirken makro modelleme tekniği esas alınmıştır.



Şekil 4. Yığma Yapıları Modelleme Yöntemleri [8]

Sap2000 [9] programında minareler modellenirken öncelikli olarak Şekil 5’te gösterildiği gibi minare planı kabuk (shell) olarak modellenmiştir. Daha sonra “extrude areas to solid” komutu ile shell elemanlara minimum 25 cm. (merdiven yüksekliği) kalınlık verilerek kürsü, gövde, merdiven, petek gibi kısımları katı (solid) eleman olarak oluşturulmuştur.



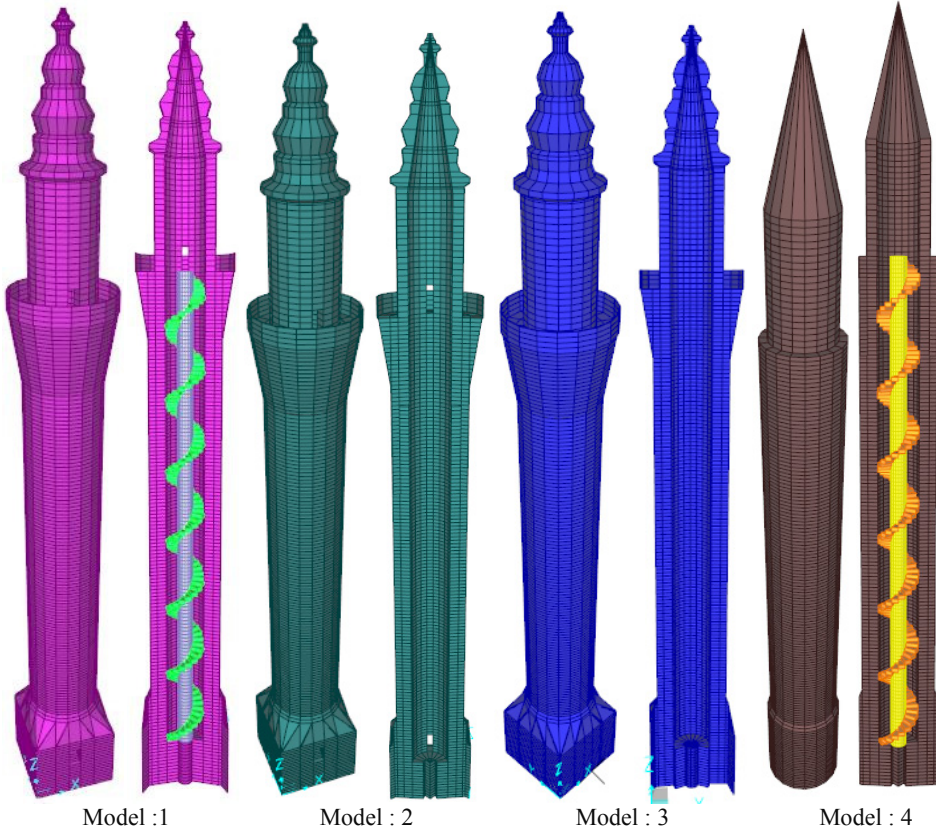
Şekil 5. Sap2000 programında modellenen doğu minare planının görüntüsü

Şekil 6’da görüldüğü gibi farklı yaklaşımlarla 4 model üretilmiştir. 1. modelde merdiven, külah (boğumlu), şerefe, kürsü, küp, kapı ve pencere boşlukları modellemede dikkate alınmıştır. 2. modelde merdiven olmadan, 3. modelde merdivensiz, kapı ve pencere boşlukları ihmal edilerek, 4. modelde ise sistem boğumlu külah yerine düz külah alınarak, şerefesiz, kürsü ve küp kısmı gövde duvarıyla aynı hizada alınarak, kapı ve pencere boşlukları da ihmal edilerek sade bir şekilde oluşturulmuştur.

Minarenin ilk modelinde 14107 adet düğüm noktası sayısı ve 11085 adet katı eleman, 2. Modelinde 11527 düğüm noktası ile 8505 katı eleman, 3. Modelinde 11527 düğüm noktası ile 8534 katı eleman, 4. Modelinde ise 12304 düğüm noktası ve 9400 katı eleman bulunmaktadır. Malzeme parametreleriyle ilgili kabuller çeşitli literatür araştırmaları sonucu Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Yapı elemanlarının modellenmesinde dikkate alınan eleman tipleri ve malzeme özellikleri [10]

Yapı Elemanı	Yapı Birimi	Eleman Tipi	Elastisite Modülü (MPa)	Özkütle (kg/m ³)
Duvarlar, Külah	Tuğla	Katı (Solid)	3000	1800
Merdiven ve İç Gövde	Taş	Katı (Solid)	10000	2200



Şekil 6. Farklı yaklaşımlar dikkate alınarak oluşturulan minare modelleri

4. YAPISAL ANALİZ

4.1. Modal Analiz

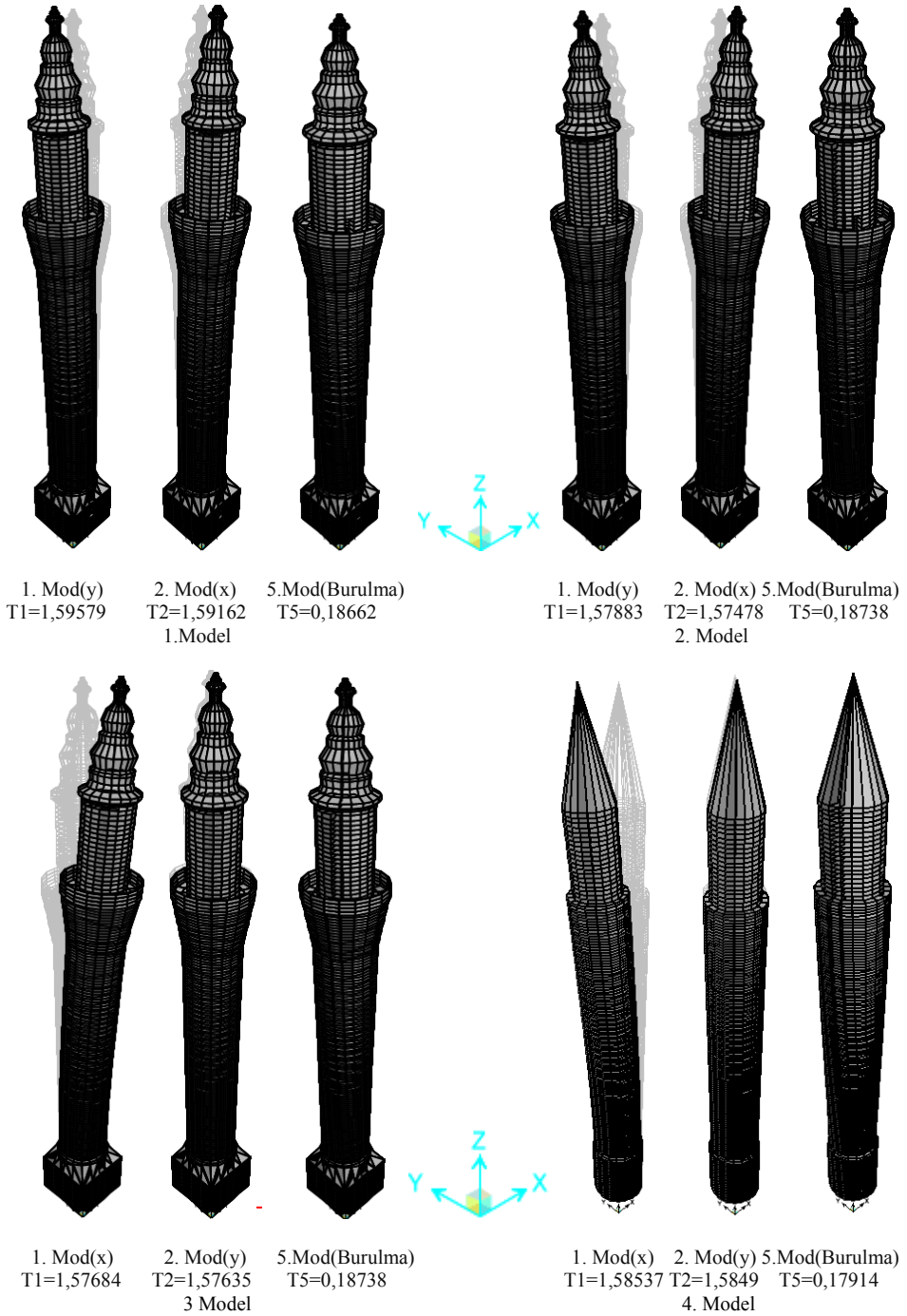
Modal analiz yapının serbest titreşim periyotlarının, frekans değerlerinin, kütle katılım oranlarının ve mod şekillerin belirlenmesini sağlayan dinamik analiz yöntemidir.

Minarelerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için öncelikli olarak modal analizleri yapılmıştır. Modal analiz yapılırken yapının ilk 30 modu dikkate alınmıştır. 4 modelde de x ve y yönündeki kütle katılım oranları %85'in üstünde olduğu ve daha fazla mod alınmasının fazla bir etkisi olmadığı görülmüştür. Modellerin modal analiz sonuçlarına göre etkin modları, doğal titreşim periyotları ve frekansları ile kütle katılım oranları Çizelge 2 de, mod şekilleri de Şekil 7'de gösterilmiştir. Mod şekilleri incelendiğinde, bütün modellerin benzer modal davranışa sahip oldukları ve modellemeye göz önüne alınan farklılıkların mod şekilleri üzerinde çok fazla değişikliğe sebep olmadığı görülmektedir. Doğal titreşim periyotları açısından sistem değerlendirildiğinde ise, merdivenli sistemin merdivensizlere göre daha yüksek doğal titreşim periyotuna sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun yapının kütledeki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Model 2 ve model 3'e ait titreşim periyotları birbirlerine oldukça yakındırlar. Her iki modelde merdiven olmamakla birlikte, model 3'te kapı ve pencere boşlukları dikkate alınmamıştır. Buradan, bu boşlukların yapısal davranışa etkisinin az olduğu anlaşılmaktadır.

Sadeleştirilmiş sistemi temsil eden model 4 te ise, yine merdiven dolayısı ile kütle artışından kaynaklı olarak yapının hakim titreşim periyotlarında artış gözlemlenmiştir. İhmal edilen yapısal kısımlardan dolayı da kütle azalmıştır. Model 1 ile kıyaslandığında periyotu daha azdır.

Çizelge 2. Modellerin etkin kütle katılım oranları ile beraber modal analiz sonuçları

	Mod	Periyot	Frekans	U _x	U _y	U _z	ΣU _x	ΣU _y	ΣU _z	R _z	ΣR _z
MODEL 1	1	1,59579	0,62665	0,00217	0,468	1,89E-08	0,00217	0,468	1,9E-08	2,7E-06	2,7E-06
	2	1,59162	0,62829	0,468	0,00216	1,15E-09	0,47	0,47	2E-08	1,9E-06	4,6E-06
	5	0,18662	5,3586	1,1E-05	7,3E-08	5,42E-06	0,626	0,626	6,4E-06	0,565	0,565
	30	0,02623	38,1228	9,6E-07	1,8E-08	7,66E-11	0,876	0,878	0,779	2E-08	0,798
MODEL 2	1	1,57883	0,63338	0,00165	0,464	2,28E-08	0,00165	0,464	2,3E-08	2,1E-06	2,1E-06
	2	1,57478	0,63501	0,463	0,00165	7,81E-10	0,465	0,465	2,4E-08	1,6E-06	3,7E-06
	5	0,18738	5,33681	1,1E-05	3,1E-08	1,3E-09	0,619	0,618	6,9E-07	0,563	0,563
	30	0,02623	38,1228	3,3E-07	2,5E-11	1,68E-11	0,868	0,87	0,766	4,3E-09	0,795
MODEL 3	1	1,57684	0,63418	0,31	0,155	1,57E-10	0,31	0,155	1,6E-10	8,8E-07	8,8E-07
	2	1,57635	0,63438	0,155	0,309	1,99E-09	0,464	0,464	2,1E-09	1E-06	1,9E-06
	5	0,18704	5,34642	1,7E-08	3E-08	1,24E-09	0,617	0,617	4,8E-08	0,56	0,56
	30	0,02623	38,1228	2,2E-14	2,2E-13	2,03E-14	0,871	0,871	0,763	5,5E-12	0,792
MODEL 4	1	1,58537	0,63077	0,3	0,239	4,55E-11	0,3	0,239	4,5E-11	7,5E-08	7,5E-08
	2	1,5849	0,63096	0,239	0,3	5,63E-09	0,539	0,539	5,7E-09	5,8E-10	7,6E-08
	5	0,17914	5,58232	3,6E-10	6E-10	5,68E-06	0,727	0,727	5,8E-06	0,73	0,73
	30	0,02037	49,0894	0,00102	0,00606	3,81E-05	0,923	0,923	0,859	1,9E-06	0,936

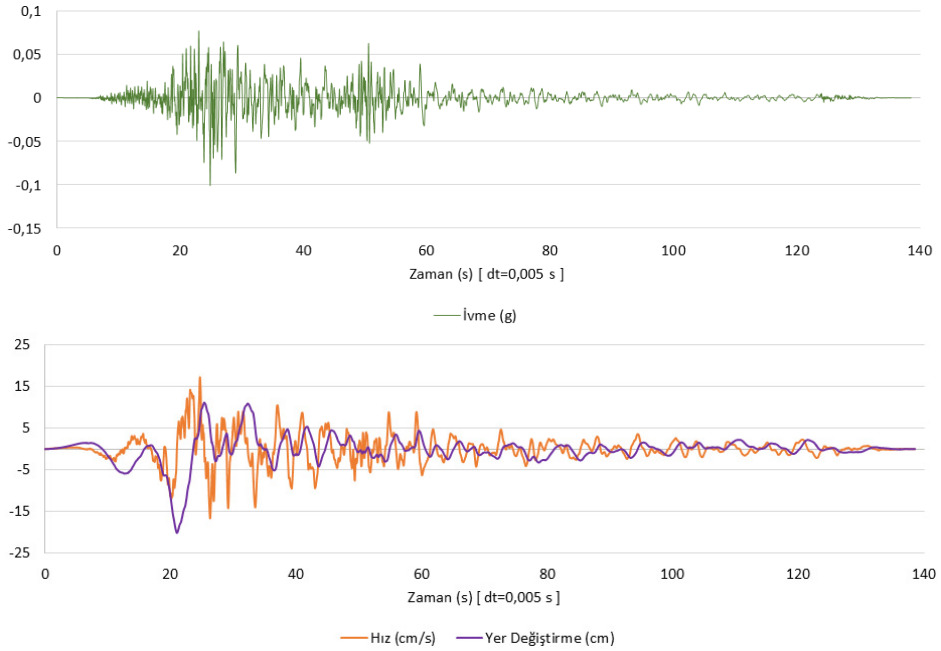


Şekil 7. Her bir model için elde edilen mod şekilleri ve periyot değerleri

4.2. Deprem Analizi

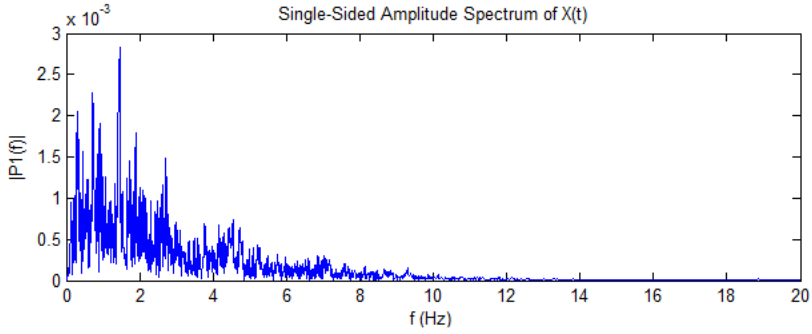
Dinamik analiz; yapının, deprem yükleri gibi ani ve ivmeli titreşim hareketleri olan ve yapıda atalet kuvvetlerinin doğmasına neden yüklerin yapıya etkimesi sonucunda, doğal titreşim frekanslarının bulunarak bu değerlerin süperpoze edilmesi ile yapılan, zamanın fonksiyonu olan bir çözüm tipidir.

Modellerin deprem analizleri için 1999 Kocaeli depreminde Bursa İli Tofaş istasyonundan alınan deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılmıştır. Deprem kayıtları Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Peer Ground Motion Database) [11] veri tabanında yer alan filtrelenmiş veriler kullanılarak sisteme etki ettirilmiştir. Kullanılan deprem kaydına ait ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri Şekil 8’de görüldüğü gibidir.

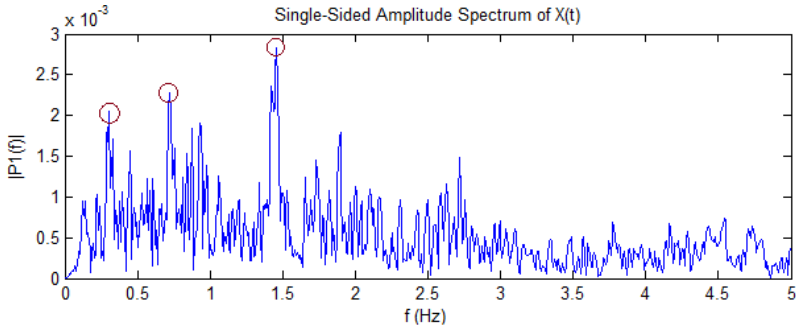


Şekil 8. 1999 Kocaeli depremi Bursa Tofaş istasyonu yatay deprem kaydı

Deprem ivmesinin Fourier spektrumu Şekil 9’da görüldüğü gibidir. Burada, deprem dalgasının yoğun olarak 0-5 Hz arasında oluştuğu görülmektedir. Bu aralıkta grafiğin detaylı gösterimi Şekil 10’da görüldüğü gibidir. Buradan görüldüğü üzere, 0.3Hz, 0.7Hz ve 1.5 Hz civarında tepe değerlerinin oluştuğu, deprem kaydının hakim frekanslarının da 0-5Hz aralığında olduğu gözlemlenmektedir. Bu frekanslardaki yapılarda depremin daha etkili olacağı anlaşılmaktadır. Modellerimizin hakim frekanslarının da, deprem kaydının hakim frekans aralığı içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

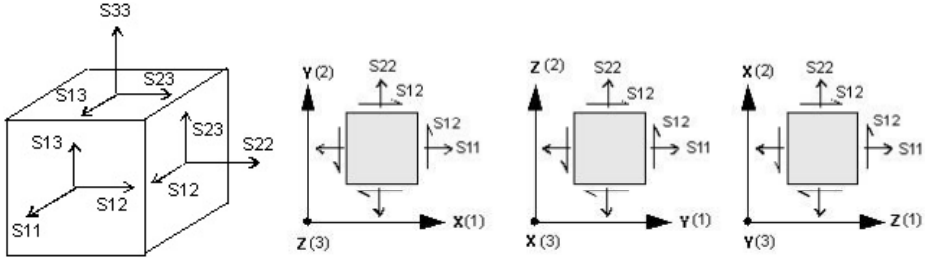


Şekil 9. Bursa Tofas istasyonundan alınan deprem kaydının x bileşeni Fourier spektrumu



Şekil 10. Deprem kaydının hakim frekansları (0-5 Hz arası görünümü)

Yapının sonlu elemanlar modelinde kullanılan elemanların işaret uyumları ve yön kabulleri, sayısal modellemenin yapıldığı yazılımın [9] öngördüğü kabullere bağlı kalınarak Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. İşaret Uyumu ve Yön Kabulleri [9]

Şekil 11'de belirtildiği üzere; S11: (x) yönünde düşey gerilme, S22: (y) yönünde düşey gerilme, S33: (z) yönünde düşey gerilme, (S12 = S21): x-y düzleminde kayma gerilmeleridir.

Deprem kaydının üretilen modellere etki ettirilmesi sonucunda meydana gelen maksimum gerilmelerin dağılımı Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15'te görüldüğü gibidir. En fazla zorlanmanın bütün modellerde küp ile gövdenin birleşim yerinde meydana geldiği görülmektedir. Gerilme dağılımlarının değerlendirilmesi için katı elemanların lokal koordinat sistemleri dikkate alınarak 1-1, 2-2 ve 3-3 gerilmeleri dikkate alınmıştır. Çizelge 3 ve Çizelge 4'te detaylı gösterildiği üzere, modellerde meydana gelen en büyük basınç ve çekme gerilmeleri dikkate alındığında, 2 ve 3 numaralı modellerin birbirine yakın davranış gösterdikleri görülmektedir. 1

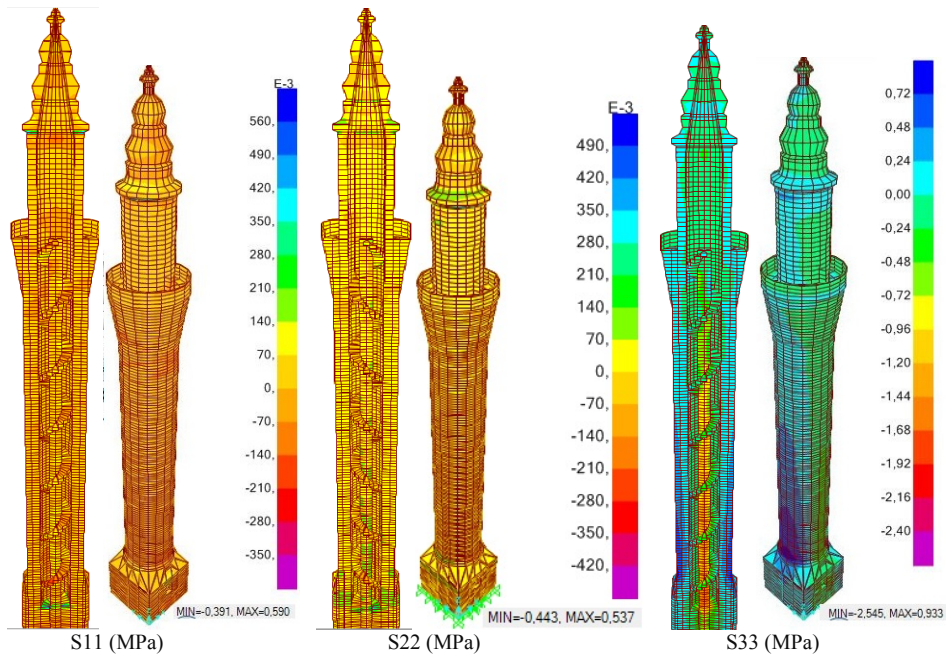
numaralı modelde 1 ve 2 yönünde daha az çekme gerilmelerinin meydana geldiği, bununla beraber daha büyük basınç gerilmelerinin oluştuğu görülmektedir. Özellikle 3 yönünde en büyük çekme gerilmesi oluşmakta, basınç gerilmesi ise 4 nolu model ile beraber diğer modellere kıyasla oldukça fazla olmaktadır. Bu durumun da yine kütledeki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Basitleştirilmiş olan 4 numaralı modelde de 1 numaralı modele nispeten daha büyük gerilmelerin meydana geldiği gözlemlenmektedir. Buradaki artışın sebebinin de, merdiven ilavesi sonucu kütledeki artışın yanında basitleştirme dolayısı ile gerilmelerde azalmaya sebep olacak yapısal elemanların sistemde olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapının, doğrudan silindirik olarak modellenmesi, yapısal olarak gerçek davranıştan sistemi uzaklaştırmaktadır. Sistemde küp ve kürsü kısmında yapılan genişletme ile beraber, oluşan gerilme dağılımında azalma oluşmakta, yaklaşık modelde bu genişleme olmadığından, yüksek gerilmeler oluşmaktadır.

Çizelge 3. Modellerde deprem etkisi altında görülen maksimum çekme gerilmeleri

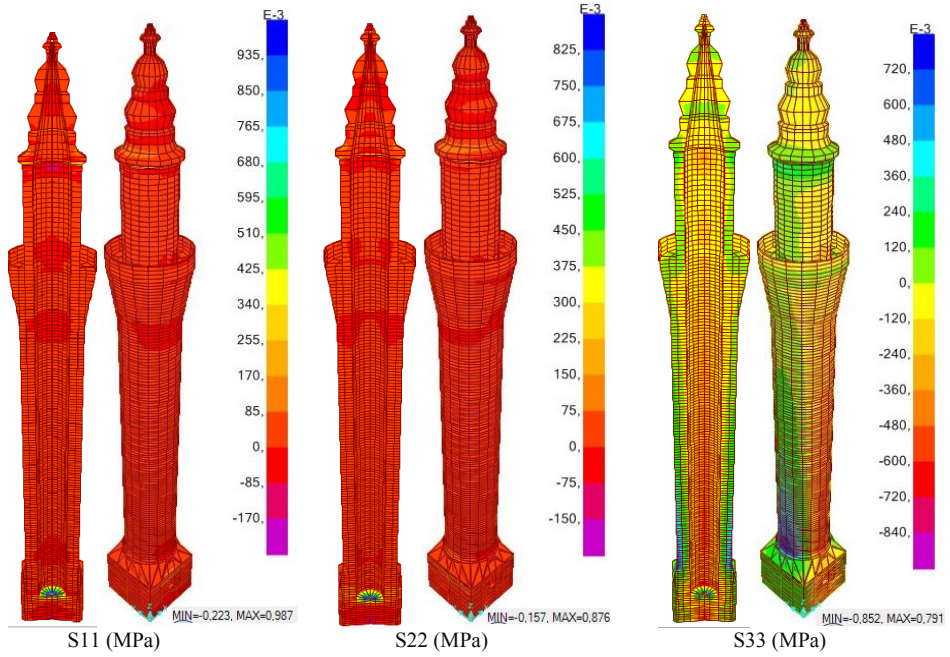
Model No	S11 (MPa)	S22 (MPa)	S33 (MPa)
Model 1	0,590	0,537	0,933
Model 2	0,987	0,876	0,791
Model 3	0,956	0,885	0,806
Model 4	0,876	0,657	0,824

Çizelge 4. Modellerde deprem etkisi altında görülen maksimum basınç gerilmeleri

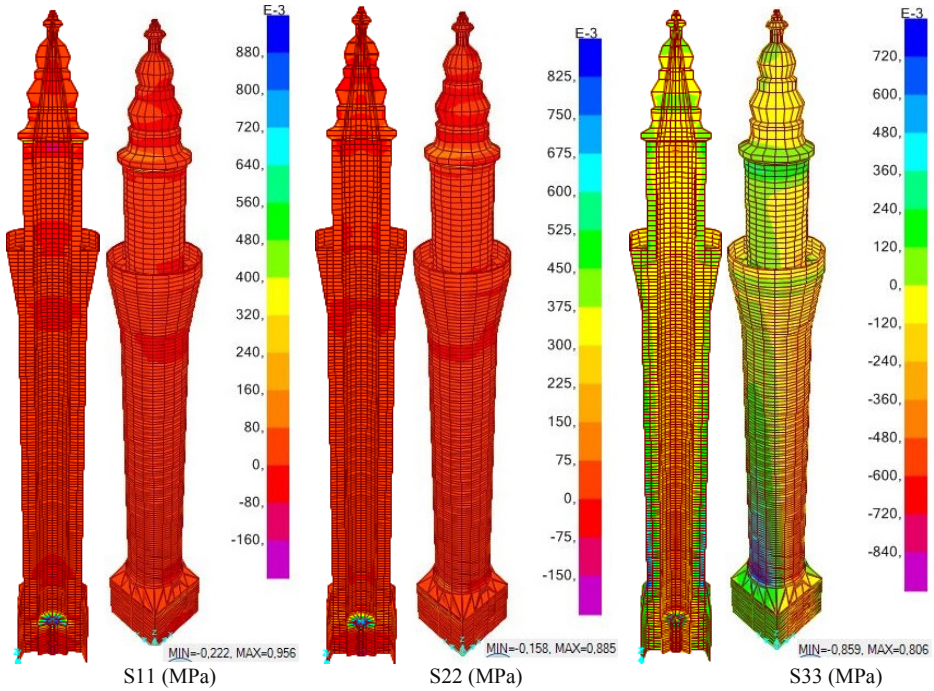
Model No	S11 (MPa)	S22 (MPa)	S33 (MPa)
Model 1	0.391	0.443	2.545
Model 2	0,223	0,157	0.852
Model 3	0,222	0,158	0.859
Model 4	0,476	0,432	2.947



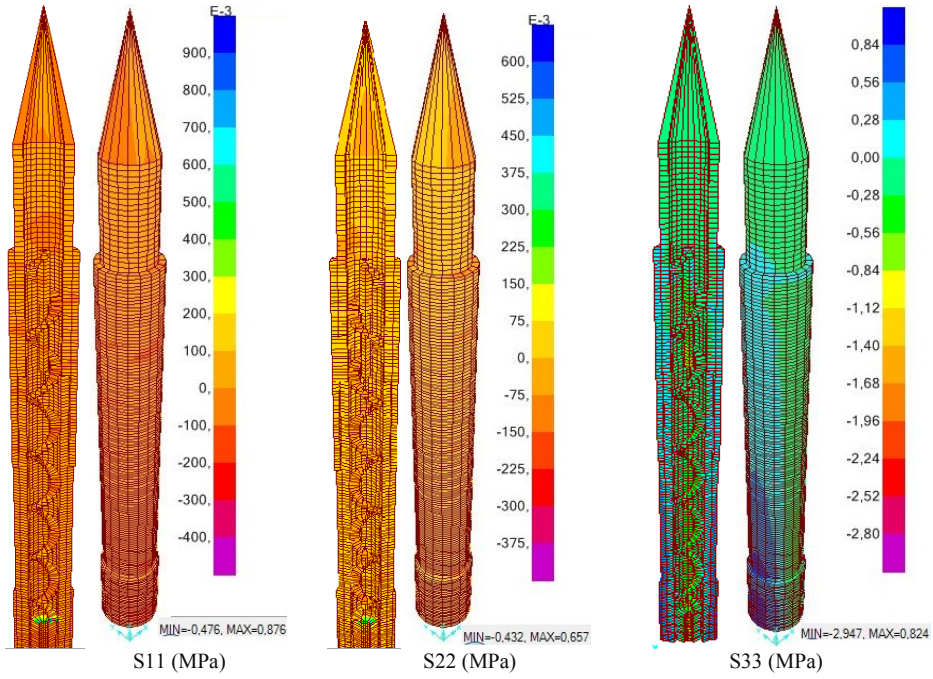
Şekil 12. Deprem etkisi sonucunda 1. modelde oluşan maksimum gerilmeler (Mpa)



Şekil 13. Deprem etkisi sonucunda 2. modelde oluşan maksimum gerilmeler (MPa)

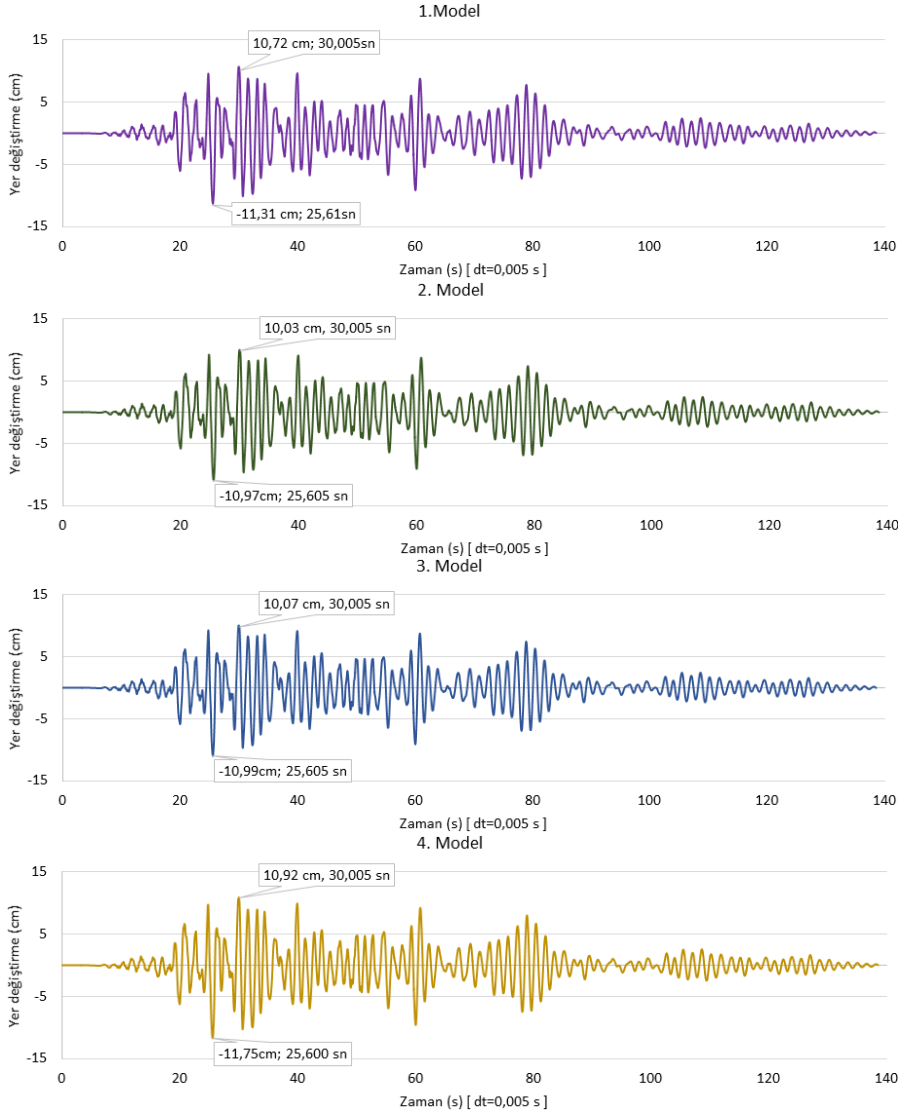


Şekil 14. Deprem etkisi sonucunda 3. modelde oluşan maksimum gerilmeler (MPa)



Şekil 15. Deprem etkisi sonucunda 4. modelde oluşan maksimum gerilmeler (MPa)

Deprem etkisi altında, minarelerin tepe noktasında meydana gelen maksimum yer değiştirme grafikleri Şekil 16'da görüldüğü gibidir. Maksimum yer değiştirme miktarları modeller için sırası ile 11,31 cm, 10,97 cm, 10,99 cm ve 11,75 cm'dir. Gerilme dağılımı sonuçlarına paralel olarak 2. ve 3. modelin tepe noktasında meydana gelen yerdeğiştirmelerin birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Kütle artışına paralel olarak 1 numaralı modelde yer değiştirmede 0,3 cm artış görülmektedir. Ancak bu yer değiştirme fazlalığının sınırlı kaldığı, bunun sebebinin de merdiven ilavesinin yapının rijitliğini artırmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Özellikle 4 numaralı modelde gerilmeler çok daha fazla olmasına rağmen yer değiştirme miktarı 11,75 cm ile sınırlı kalmıştır. Bu sınırlamanın da yine merdiven ilavesinin modelin rijitliğine yaptığı katkıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.



şekil 16. Kocaeli Depremine göre tepe noktalarındaki yer değiştirme grafikleri ve u değerleri (cm)

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tarihi minarelerin modelleme yaklaşımlarının deprem davranışına etkisi üzerine bir araştırma yapılmıştır. Uygulama olarak Bursa Ulu Camii'nin doğu minaresi dikkate alınmıştır. Ana yapıdan 1 metre ayrıık olarak inşa edilmiş olan minarenin katı elemanlar kullanılarak dört farklı modeli geliştirilmiştir. İlk olarak, bütün detayların yer aldığı, yapısal elemanların tüm bileşenlerinin dikkate alındığı bir model üretilmiştir. Daha sonra ise merdivenin ihmal edildiği bir model üretilmiş, bir sonraki aşamada ise yapıdaki merdiven ve kapı, pencere boşlukları da

ihmal edilmiştir. Son olarak ise sadeleştirilmiş bir model oluşturulmuş ve bu modele merdiven eklenmiştir. Üretilen modellerin dinamik karakteristikleri modal analizler ile belirlenmiş, daha sonra 1999 Kocaeli depremi Bursa Tofaş istasyonunda elde edilen deprem kaydının yatay bileşeni modellere uygulanmıştır. Modeller incelendiğinde, merdivenli sistemin merdivensizlere göre daha fazla doğal titreşim periyotuna sahip olduğu görülmüştür. Bu durumun yapının kütledeki artıştan kaynaklandığı düşünülmektedir. Model 2 ve model 3'e ait titreşim periyotları birbirlerine oldukça yakındır. Her iki modelde merdiven olmamakla birlikte, model 3'teki kapı ve pencere boşlukları dikkate alınmamıştır. Minaredeki kapı ve pencere boşluklarının yapısal davranışa etkisinin çok fazla olmadığı anlaşılmaktadır. Kütleli artan modellerde daha büyük gerilmelerin meydana geldiği görülmektedir. Bununla beraber, yapısal modelde sadeleştirme sonucu kütle azalmasına rağmen gerilmelerde azalmaya sebep olacak yapısal elemanların sistemde olmamasından dolayı gerilmelerde artış olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, modellemede yapılacak olan sadeleştirmelerin, kapı pencere boşluğu gibi kütleye çok fazla etki etmeyecek kısımlar ile sınırlı kalması gerektiği, rijitliği doğrudan etkileyecek ve kütlede artışa sebep olacak olan merdivenin dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, yapısal davranışı etkileyecek olan mesnetlenme bölgesine yakın birleşim bölgelerindeki genişleme ve açılmalarda deprem etkilerinin de dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Sezen, H., Acar R., Doğangün A., Livaoğlu, R., “Dynamic analysis and seismic performance of reinforced concrete minarets”, *Engineering Structures* 30 2253–2264, 2008.
- [2] Ertek, E., Fahjan, Y., “Osmanlı Minarelerinin Yapısal Sistemleri: Sınıflandırma, Modellleme ve Analizi”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- [3] Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Sevim, B., Türker, T., Akköse, M., and Coşkun, N., “Modal analysis, experimental validation and calibration of a historical masonry minaret.” *J. Test. Eval.*, 36(6), 516–524, 2008.
- [4] Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A. C., and Türker, T., “Earthquake analysis of RC minarets using ambient vibration test results.” *Struct. Des. Tall Special Build.*, 19(3), 257–273, 2010.
- [5] Şahin, A., Bayraktar, A., Özcan, D., Sevim, B., Altunışık, A., and Türker, T., “Dynamic Field Test, System Identification, and Modal Validation of an RC Minaret: Preprocessing and Postprocessing the Wind-Induced Ambient Vibration Data.” *J. Perform. Constr. Facil.*, 25(4), 336–356, 2011.
- [6] Caktı, E., Saygılı, O., Gork, S., Zengin, E., Oliveira, C.S., Lemos, J.V., “Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Minaresinin Deprem Davranışı”, *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, 6, 34-40, 2013.
- [7] <http://www.bursaulucamii.com/> [01.09.2015 te ziyaret edildi].
- [8] SAP2000 Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., 2009.
- [9] Dabanlı, Ö., “Tarihi Yığma Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- [10] Akdeniz, Ö., “Tarihi Yapıların Lineer Olmayan Dinamik Analizi”, *Fırat Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, Elazığ, 2011.
- [11] <http://ngawest2.berkeley.edu/> [01.09.2015 te ziyaret edildi].