

Tarihi Ahşap Çatılı Yiğma Taş Camilerin Deneysel Dinamik Karakteristikleri

Müh. İsmet Çalık*
Alemdar Bayraktar**
Temel Türker***

Öz

Ahşap çatılı doğal taş yiğma camiler, Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde sıklıkla rastlanan tarihi eserlerdendir. Camilerin beden duvarları doğal taş, kireç, toprak veya horosan harcı birleşimi ile yapılmış ve çatıları ahşap elemanlarla teşkil edilmiştir. Bu çalışma kapsamında, Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan ahşap çatılı yiğma taş camilerin dinamik karakteristiklerinin hasarsız deneysel yöntemlerle tespit edilmesi amaçlanmıştır. Uygulama amacıyla, Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Camii, Artvin-Hopa Sundura Mahallesi Camii ve Trabzon Merkez Tavanlı Camii seçilmiştir. Seçilen camiler, yakın zamanda restorasyonu yapılmış eserler olup, geometrileri ve özellikleri benzerdir. Camilerin frekans, sönüm oranı ve mod şeklinden oluşan dinamik karakteristikleri sismik ivme ölçerler kullanılarak Çevresel Titreşim Testi yöntemiyle belirlenmiştir. Söz konusu camilerden elde edilen hasarsız deneysel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış ve ahşap çatılı yiğma camilerin analitik modellerinin kontrolü için frekans aralığı verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Çatılı Camiler, Yiğma Taş Camiler, Çevresel Titreşim Testi, Hasarsız Deneysel Yöntemler, Doğu Karadeniz Bölgesi.

Experimental Dynamic Characteristics of Historical Masonry Stone Mosques with Wooden Roof

Abstract

Natural stone masonry mosques with wooden roof are the most widespread historical building of Eastern Black Sea Region in Turkey. The main walls of buildings are made with the combination of natural stone, lime, soil or horosan mortar and their roofs are constituted with wooden elements. Within the scope of this study, it is aimed to determine the dynamic characteristics of masonry stone mosques with wooden roof in the Eastern Black Sea Region in Turkey with nondestructive experimental methods. For the purpose of practice, Rize Gulbahar Mahallesi Buyuk Mosque, Artvin Hopa Sundura Mahallesi Mosque and Trabzon Merkez Tavanlı Mosque are selected. Selected mosques have recently been restored and their geometries and properties are similar. The dynamic characteristics such as natural frequency, modal damping ratios and mode shape of the mosques are determined with the Ambient Vibration Test by using the seismic accelerometer. The results of nondestructive experiments obtained from the mosques are compared with each other and the frequency interval for the control of the analytic models of masonry stone mosques with wooden roof is given.

Key Words: Mosques with wooden roof, masonry stone mosques, the Ambient Vibration Test, nondestructive test method, Eastern Black Sea Region

* Vakıflar Genel Müdürlüğü, Trabzon Bölge Müdürlüğü, 61080, Trabzon, ismetcalik@yahoo.com

** Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, alemdar@ktu.edu.tr

*** Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, temelturker@ktu.edu.tr

Giriş

Tarihi yapılar zaman içinde sıcaklık, kar gibi değişken iklim koşullarına, patlatma ve deprem yükleri ile çevresel etkilere maruz kalmaktadırlar. Geçmişten beri varlıklarını sürdürmüş olsalar da gelecek nesillere güvenle aktarılması için bu yapıların sağlıklarının dış etkiler altında sürekli izlenmesi ve gerekli onarım/güçlendirme önlemlerin alınması gerekmektedir. Onarım veya güçlendirme çalışmaları için ilgili eserlerin analitik modelleri oluşturulmaktadır. Tarihi yapılar kompozit elemanlardan oluştukları için analitik modellerinin hasarsız dinamik deneysel yöntem sonuçlarına göre kalibre edilmesi gerekmektedir. Çünkü deneysel sonuçlarla kalibre edilmemiş analitik modellere göre yapılacak onarım/güçlendirme projeleri eksik ya da yanlış sonuçlar içerebilmektedir.

Tarihi eserlerin yapısal davranışlarının belirlenmesi ile ilgili birçok analitik ve deneysel çalışma yapılmıştır. Creazza vd. (2001), Turek vd. (2002), Durukal vd. (2003), Gentile ve Saisi (2007); Beyen (2007), Bayraktar vd. (2007), Bayraktar vd. (2009), Akan (2010), Doğangün vd. (2011), Bayraktar vd., (2011), Atamturktur vd. (2011), Can ve Ünay (2012), Bayraktar vd., (2013) ve Lourenço ve Ramos, (2011), Çalık vd. (2013-2015) tarafından yapılan çalışmalar bu alandaki araştırmalardan bazılarıdır. Yapılan çoğu çalışmada,

tarihi yapıların yapısal davranışlarının analitik modellenmesindeki zorluklardan ve model kalibrasyonu ihtiyacından bahsedilmektedir. Yiğma taş duvarlı tarihi camiler, taş ve tuğladan mamul kubbelerle ya da ahşap çatı ile örtülmüşlerdir. Farklı çatı taşıyıcı sisteme sahip camiler, farklı dinamik davranış göstermektedirler. Bu çalışma kapsamında, ahşap çatılı camilerin dinamik karakteristiklerinin hasarsız deneysel yöntemlerle tespit edilmesi amaçlanmıştır. Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan tarihi dini yapıların önemli bölümü yiğma taş duvarlı ahşap çatılı camilerdir. Çalışma kapsamında uygulama amacıyla, Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Camii, Artvin Hopa Sundura Mahallesi Camii ve Trabzon Merkez Tavanlı Camileri seçilmiştir. Camilerin dinamik karakteristikleri hassas sismik ivmeölçerler kullanılarak Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle belirlenmiştir. Seçilen camilerden elde edilen hasarsız deneysel sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

İncelemeye Konu Camiler

Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Cami

Rize Merkez Gülbahar Mahallesi'nde yer alan Büyük Cami, 73 pafta 544 ada 2 parselde kayıtlıdır. Harim kısmının duvarları düzgün yonu olarak mahalli siyah taştan yapılmıştır. Son cemaat mahalliyle birlikte dört omuz bir çatıya sahiptir (Karpuz, 1993: 21).



Şekil 1. Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Cami'nin konumunu gösterir harita (Google Earth, 2014)

Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait Cami, Gayrimenkul Eski Eserler Anıtlar Yüksek Kurulu tarafından 13.11.1982 tarih ve 3966 nu-

maralı karar ile korunması gerekli kültür varlığı olarak belirlenmiştir.



Güneybatı görünüşü

Batı görünüşü

Şekil 2. Gülbahar Mahallesi Büyük Camii'ye ait görüntüler

Eserin ilk olarak M. 1660 yılında Gülbahar Hatun adına yaptırıldığı ancak 1931 yılında mahalle halkı tarafından yıkılarak bugünkü yapının inşaa edildiği bilinmektedir (Çalık vd.,

2013: 76). Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2011 yılında rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri hazırlanan eser, 2012-2013 yıllarında restore edilmiştir.



Şekil 3. Gülbahar Mahallesi Büyük Camii'ye ait dış ve iç mekân görüntüler

Caminin ana ibadet mekânı moloz taş duvardan yapılan kare planlı şema yansıtır. Kiremit kaplı ahşap çatının içinde bağdadi kubbe bulunmaktadır. Kubbenin içi bağdadi sıvalı, tavanın geri kalan kısmı ise çitallı ahşap tavadır. Eserin iç duvarları sıvalı ve boyalı, mihrabı beton, minberi ve kürsüsü ahşaptır. Ahşap mahfil katna caminin içinden ve son cemaat mekânından çıkılmakta iken, restorasyon esnasında son cemaatte bulunan merdiven iptal edilmiştir.

Son cemaat mekânı onarımdan sonra orijinal şekli ile açık hale getirilmiş ve minarede çürüyen taşlar yenilenmiştir. İlgili projeler Zan İnş. Mimarlık Müh. Müş. Ltd. Şti tarafından çizilmiş, Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2012 yılında ihale edilerek yüklenici Mimar Kemal Bektaş tarafından restore edilmiştir (Caminin kat planı ve yan cephe görünüşleri için bkz. Şekil 4).



Şekil 4. Büyük Gülbahar Camisi kat planı ve cephe görünüşleri (Restorasyon Projesi, 2012)

Artvin Hopa Sundura Mahallesi Camisi

19. yüzyılda inşa edildiği tahmin edilen Sundura Mahallesi Camisi yıllar itibariyle çeşitli müdahaleler görmüştür. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin klasik ahşap çatılı cami tipolojisine sahiptir. Hopa, Artvin iline bağlı Türkiye'nin kuzeydoğu köşesinde Gürcistan sınırında yer alan

bir sahil ilçesidir. Sundura Mahallesi ise Hopa'nın merkezinde ve ilçe stadyumu ile çeşitli okulları da içeren önemli bir mahalledir. Cami, Artvin Hopa Sundura Mahallesi 227 ada 4 parselde yer almaktadır. Eserin doğusunda dere, batısında yol, güney ve kuzeyinde mezarlık bulunmaktadır (bkz. Şekil 5).



Şekil 5. Artvin Hopa, Sundura Camisi, (Google Earth, 2014)

Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait Cami, Trabzon Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu tarafından 19.12.2008 tarih ve 1915 numaralı karar ile korunması gerekli kültür varlığı olarak belirlenmiştir. Kurul

23.03.2011 tarih ve 3282 numaralı karar ile koruma grubunun I olduğuna karar vermiştir (Caminin Kuzeybatı ve Güneybatı görünümü için bkz. Şekil 6).



Kuzeybatı görünüşü

Güneybatı görünüşü

Şekil 6. Sundura Camisi'ne ait görüntüler

Eserin kim tarafından yapıldığı bilinmemekle birlikte 19. yy'da yapıldığı tahmin edilmektedir. Yapı dönem dönem çeşitli müdahalelere sahne olmuş 1960'lı yıllarda yapılan onarım sırasında son cemaat yeri betonarme olarak kapatılmış ve dökme beton briket ile şu anda taş minarenin bulunduğu yere bir minare eklenmiştir. Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından

2012 yılında gerçekleştirilen onarım kapsamında Koruma Kurulu onaylı projesine göre yapı eklentilerinden arındırılmış ve minaresi geleneksel tekniklere uygun olarak yığma yapı tekniği ile doğal taştan yeniden yaptırılmıştır. (Caminin restorasyon sonrasına ait iç ve dış mekân görüntüleri için bkz. Şekil 7)

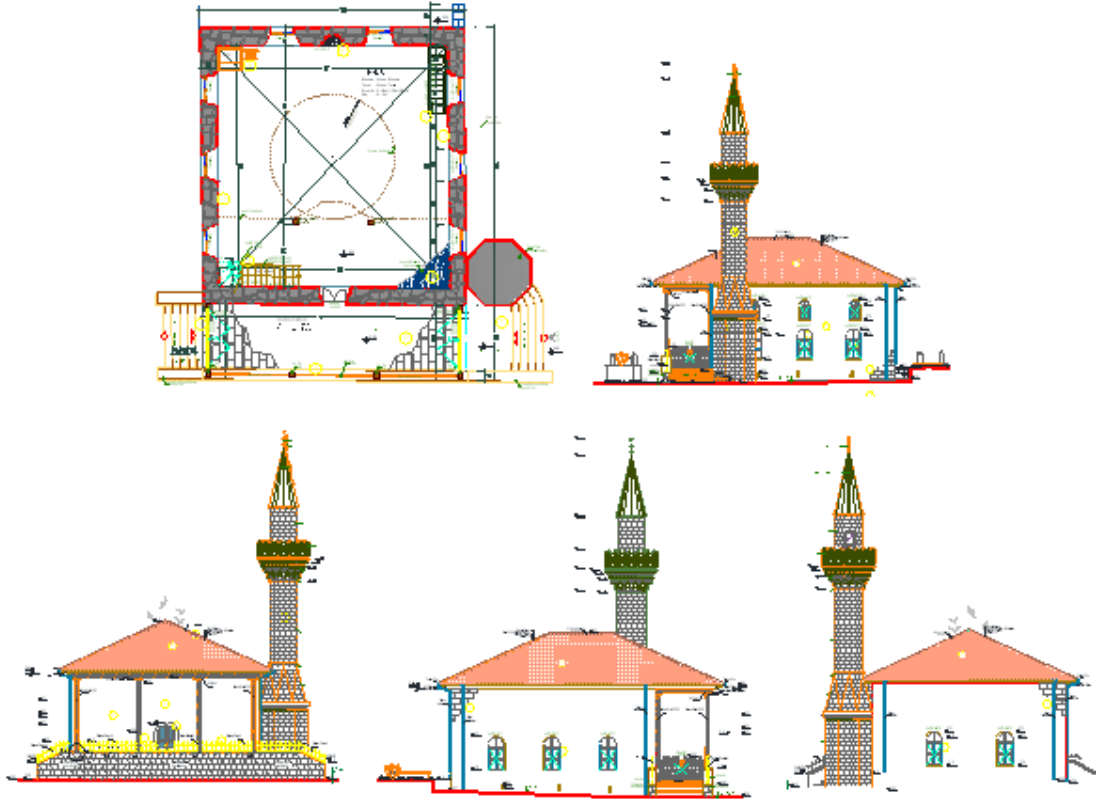


Şekil 7. Sundura Camisi'ne ait dış ve iç mekân görüntüleri

Caminin ana ibadet mekânı moloz taş duvardan yapılan kare planlı şemayı yansıtır. Kiremit kaplı ahşap çatının içinde bağdadi kubbe bulunmaktadır. Kubbenin içi bağdadi sıvalı, tavanın geri kalan kısmı ise çitallı ahşap tavadır. Eserin iç duvarları sıvalı ve boyalı, mihrabı taş minber ve kürsüsü ahşaptır. Ahşap mahfil katına caminin içinden ve doğusunda yapılan merdiven ile çıkılmaktadır. Eserin restorasyon sürecinde sıvalı dış cephesinin sıvaları raspa edildiğinde pencere sövelerinin ateş tuğlasından yapıldığı ve önemli derecede doku ve malzeme kaybına uğradığı belirlenmiştir. Onarım esnasında bu sövelerde de restorasyonlar yapılmış ve yapının dış cephesi derzlenerek orijinal taş haliyle bırakılmıştır. Son cemaat mekânı onarımdan

sonra özgün şekli ile açık hale getirilmiş ve geleneksel yapı tekniğine uygun olarak yığma taş minare yapılmıştır. Yapıya eklenen minare kesme taş malzeme ile inşa edilmiştir. Sekizgen kaideli, prizmatik pabuçlu, farisili gövdeli, tek şerefeli, konik külahlı minarenin ahşap külâh kısmı kurşunla kaplanmıştır. İlgili projeler Mimar Ali Kemal Gün tarafından çizilmiştir ve tüm hakları Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğüne aittir (Caminin kat planı ve yan cephe görüntüleri için bkz. Şekil 8).

Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2012 yılında restorasyonu tamamlanan eser, günümüzde ibadete açık ve fiilen kullanılmaktadır.



Şekil 8. Sundura Camisi kat planı ve cephe görünüşleri (Restorasyon Projesi, 2010).

Trabzon Ortahisar Tavanlı Cami

Trabzon Merkez Gazipaşa Mahallesi'nde yer alan Tavanlı Cami 19. Yüzyılda inşa edilen, yıllar itibariyle çeşitli müdahaleler gören Doğu Karadeniz Bölgesi'nin tipik klasik ahşap çatılı camilerindedir. Tavan işlemelerinin estetiğinden

dolayı Tavanlı Cami olarak isimlendirilmiştir. Cami, Gazipaşa Mahallesi 245 ada 2 parselde yer almaktadır. Eserin doğusunda ve kuzeyinden yol geçmekte, batısında ve güneyinde ise haziresi bulunmaktadır (bkz. Şekil 9).



Şekil 9. Tavanlı Camii, Merkez, Trabzon (Google Earth, 2014)

Mülkiyeti mazbut Ketencizade Mehmet Efendi Vakfına ait Tavanlı Camisi, Trabzon Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulunun

438 nolu envanter numarası ve 445 sıra numarası ile taşınmaz kültür varlığı olarak tescillidir (Özen vd., 2009:47).



Güneybatı görünüşü



Kuzeydoğu görünüşü

Şekil 10. Tavanlı Cami'ye ait görüntüler

Tavanlı Cami H.1291 / M.1874 yılında inşa edilmiştir. Kimin tarafından yaptırıldığı kesin olarak bilinmemekle birlikte *Nemlizadeler* veya *Ketencizade Hacı Mehmet* tarafından yaptırıldığı belirtilmektedir. Çeşitli tarihlerde onarım geçiren caminin giriş kapısı üzerinde yer alan kitabede

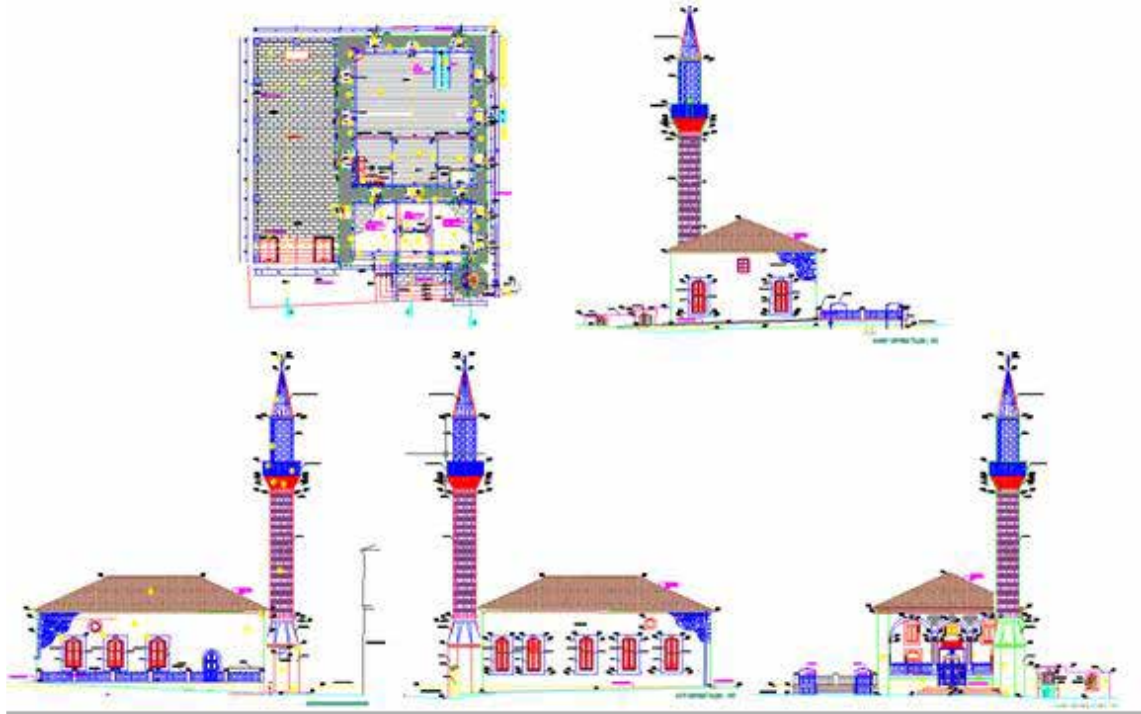
H.1308/M.1890 yılında da onarım gördüğü belirtilmektedir. Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2010 yılında gerçekleştirilen onarım kapsamında Koruma Kurulu onaylı projesine göre yapı eklentilerinden arındırılmış ve özgün haline dönüştürülmüştür (bkz. Şekil 11).



Şekil 11. Tavanlı Camisine ait dış ve iç mekân görüntüleri

Caminin ana ibadet mekânı moloz taş duvardan yapılan dikdörtgen planlı şemadadır. Çatı sistemi ahşap olup üzeri kiremit kaplıdır. Ahşap mahfil katı bulunan caminin son cemaati taş sütunlar üzerinde moloz taştan oluşturulmuş revaklardan meydana gelmiştir. Yapının iki yönlü çitallı ahşap tavanlarında el işleminin seçkin örneklerinden tavan göbekleri yer almaktadır. Eserin iç duvarları sıvalı ve boyalı, mihrabı taş,

minber ve kürsüsü ahşaptır. Caminin portalindeki yazılar taş kabartmalı ve yıldızlıdır (Horuluoğlu, 1978:66). Kesme taştan yapılmış minaresi gerek narin ve zarif biçimi gerek şerefe altı taş işçilikleri ile estetik açıdan dikkat çekicidir. İlgili projeler Ark İnşaat Mimarlık tarafından çizilmiş olup tüm hakları Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü'ne aittir (Caminin ara kat planı ve yan cephe görünüşleri için bkz. Şekil 12).



Şekil 12. Tavanlı Camisi kat planı ve cephe görünüşleri, (Restorasyon Projesi, 2006)

Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2010 yılında restorasyonu tamamlanan eser

günümüzde ibadete açık ve fiilen kullanılmaktadır.

İlgili Camilerin Çevresel Titreşim Testleri

Çevresel Titreşim Testi Yöntemi (ÇTT), mevcut yapıların dinamik davranışlarını yansıtan ve doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı olarak adlandırılan dinamik karakteristiklerinin deneysel ölçümler kullanılarak belirlenmesinde etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle yapılan ölçümlerde yapıda herhangi bir hasar oluşturulmadığından, özellikle de tarihi yapılar için oldukça kullanışlı ve tercih edilen bir yöntemdir. Çevresel Titreşim Yönteminde, yapı taşıyıcı yükü,

rüzgâr veya yaya hareketi gibi bilinmeyen çevresel etkilerle uyarılmakta ve yapının bu etkilere verdiği tepkiler ölçülmektedir.

Bu test yöntemiyle gerçekleştirilen ölçümlerde titreşim verilerini toplayabilmek amacıyla sismik ivme ölçerler, ivme ölçerlerden alınan sinyalleri biriktirmek amacıyla veri toplama ünitesi ve sinyalleri işlemek amacıyla sinyal işleme programları kullanılmıştır. İvmeölçerler olarak B&K8340 tipinde kablolu ivmeölçerler,

veri toplama ünitesi olarak 17 kanallı Brüel&Kjaer3560 veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Toplanan veriler PULSE yazılımı aracılığıyla bilgisayara aktarılmış ve OMA yazılımıyla yapıların dinamik karakteristikleri elde edilmiştir (PULSE, 2006; OMA, 2006).

Bu çalışmada, ahşap çatılı Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Camii, Artvin Hopa Sundura Mahallesi Camii ve Trabzon Merkez Tavanlı Camilerine Çevresel Titreşim Testleri uygulanarak,

camilerin dinamik karakteristikleri elde edilmiştir.

Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Cami'nin ÇTT Ölçümleri

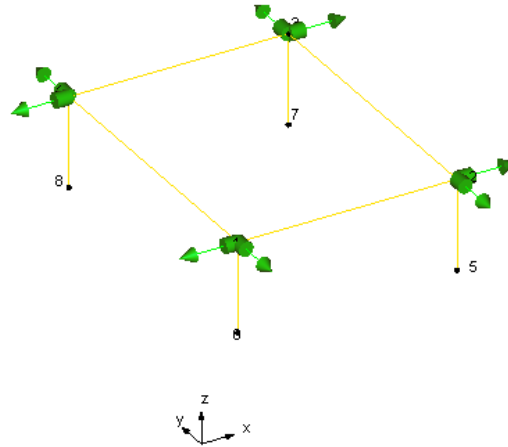
Büyük Cami'nin restorasyon sonrası yapılan çevresel titreşim testi ölçümlerinde toplam sekiz adet ivmeölçer kullanılmış olup, ivmeölçerler cami dış duvarlarına monte edilmiştir. Şekil 13'te ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir.



Şekil 13. Büyük Gülbahar Camisindeki restorasyon sonrası ölçümde ivmeölçer yerleşimleri ve veri toplama sistemine ait görüntüler

Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla

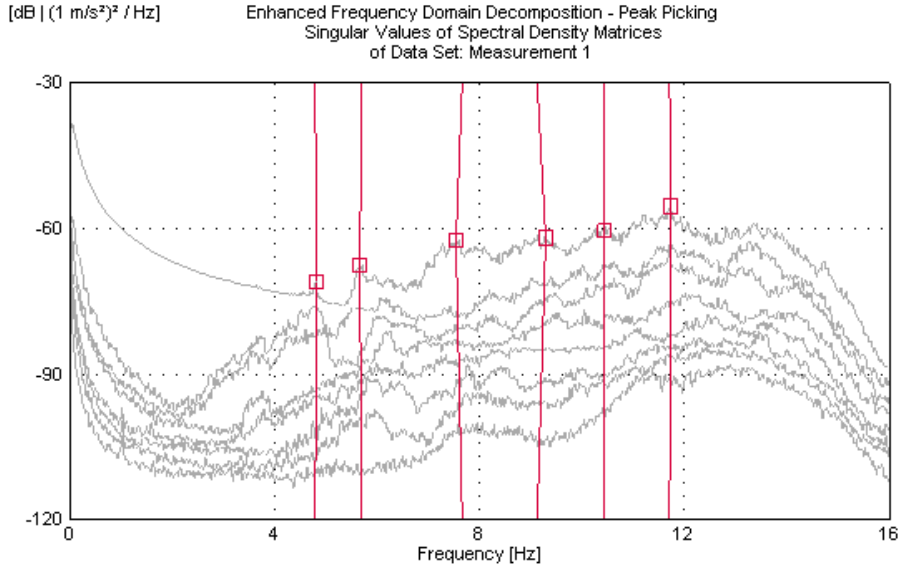
yapıyı temsilen oluşturulan model Şekil 14'te verilmektedir.



Şekil 14. Büyük Gülbahar Camisindeki ölçüme ait temsili model ve ivmeölçer yerleşimi

Caminin dış gövde duvarlarından 30 dakika süreyle ölçüm alınmış ve elde edilen sinyaller analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 15'te verilen spektrum

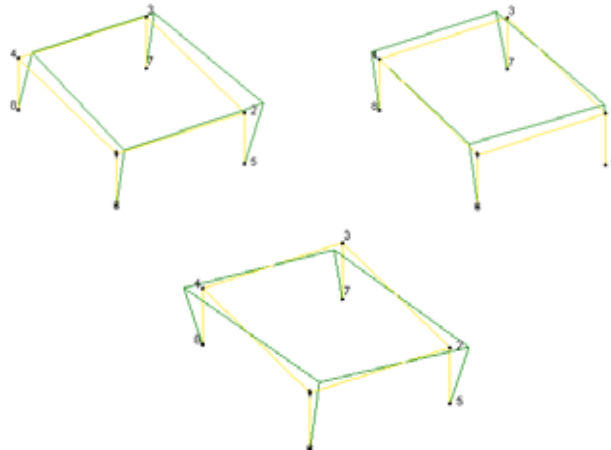
yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 1'de ise restorasyon sonrası durum için caminin ilk beş doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranları verilmektedir. Camide yapılan ölçümünden elde edilen ilk üç mod şekli ise Şekil 16'da verilmektedir.



Şekil 15. Caminin restorasyon sonrasına ait GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum

Tablo 1. Büyük Cami'de restorasyon sonrası ölçülen ilk beş doğal frekans ve sönüm oranı

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	4.801	0.5239
2	5.700	2.255
3	7.668	4.949
4	9.130	3.625
5	10.430	2.031



Şekil 16. Gülbahar Büyük Camiinin restorasyon sonrası ilk üç deneysel mod şekli

Artvin Hopa Sundura Mahallesi Camisi Ölçümleri

Hopa Sundura Mahallesi Camisi'nde gerçekleştirilen ölçümde toplam sekiz ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerler yapının enine ve boyuna doğrultulardaki hareketlerini ölçecek şekilde

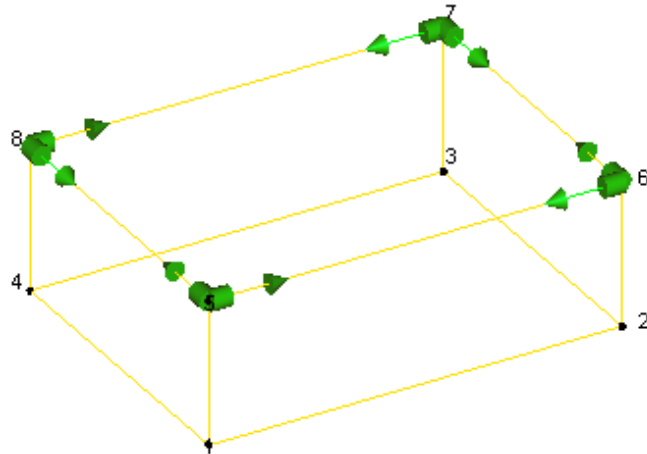
caminin köşe noktalarında dış yüzeylere bağlanmıştır. Şekil 17'de ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir.



Şekil 17. Sundura Camisi ölçümüne ait görüntüler

Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla

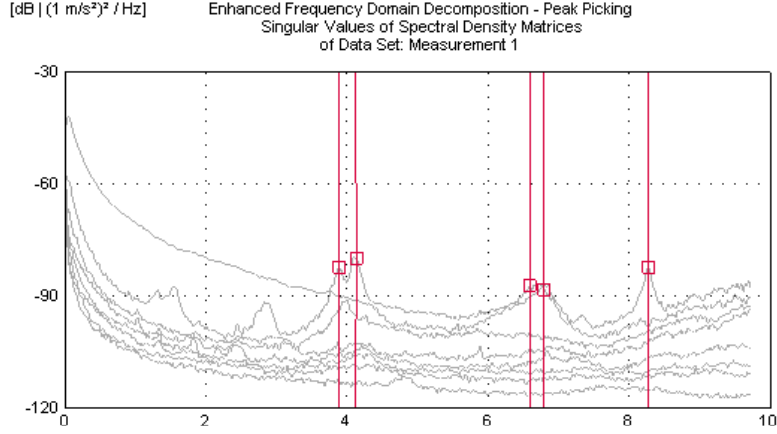
yapıyı temsilen oluşturulan model Şekil 18'de verilmektedir.



Şekil 18. Sundura Camisindeki ölçüme ait temsili model ve ivmeölçer yerleşimi

Caminin dış gövde duvarlarından 60 dakika süreyle ölçüm alınmış ve elde edilen sinyaller analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 19'da verilen spektrum

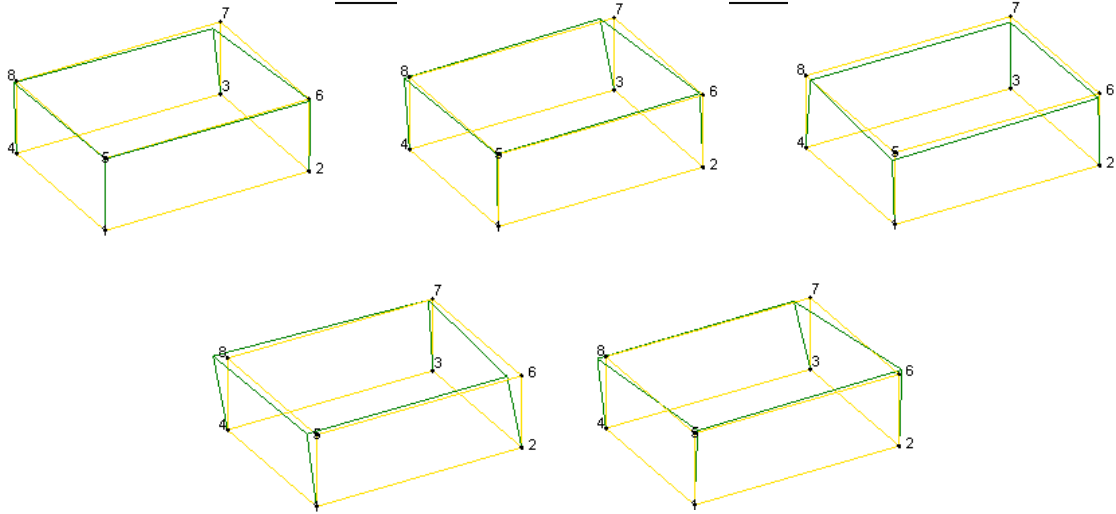
yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 2'de ise restorasyon sonrası durum için caminin ilk beş doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranları verilmektedir. Camide yapılan ölçümünden elde edilen ilk beş mod şekli ise Şekil 20'de verilmektedir.



Şekil 19. Camiye ait GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum

Tablo 2. Sundura Camisi'nde ölçülen ilk beş doğal frekans ve sönüm oranı

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	3.910	2.163
2	4.129	1.317
3	6.701	0.635
4	6.824	3.815
5	8.243	0.967

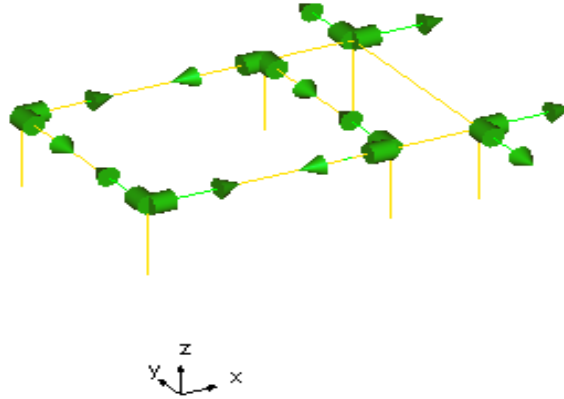


Şekil 20. Sundura Camisinin ilk beş deneysel mod şekli

Trabzon Ortahisar Tavanlı Cami Ölçümleri

Tavanlı Cami’de gerçekleştirilen ölçümde toplam on iki ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerler yapının enine ve boyuna doğrultulardaki hareketleri ölçecek şekilde caminin köşe noktalarında ve son cemaat ile caminin birleştiği köşelere bağlanmıştır. Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla yapıyı temsilen oluşturulan model Şekil 21’de verilmektedir. Şekil 22’de ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir.

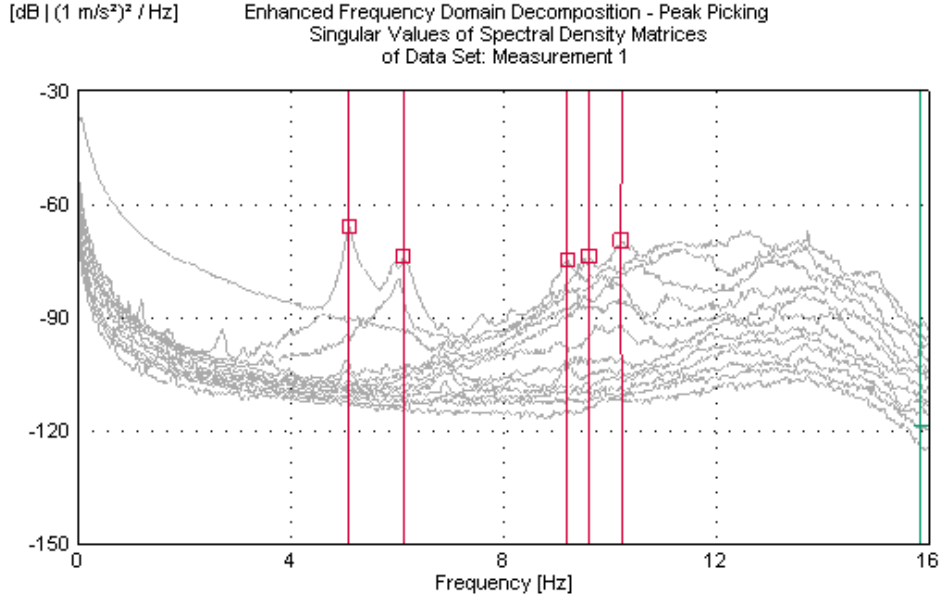
Caminin dış gövde duvarlarından 60 dakika süreyle ölçüm alınmış ve elde edilen sinyaller analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları elde edilmiştir (Şekil 23). Tablo 3’te ise restorasyon sonrası durum için ilk beş doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranı verilmektedir.



Şekil 21. Tavanlı Cami’deki ölçüme ait temsili model ve ivmeölçer yerleşimi



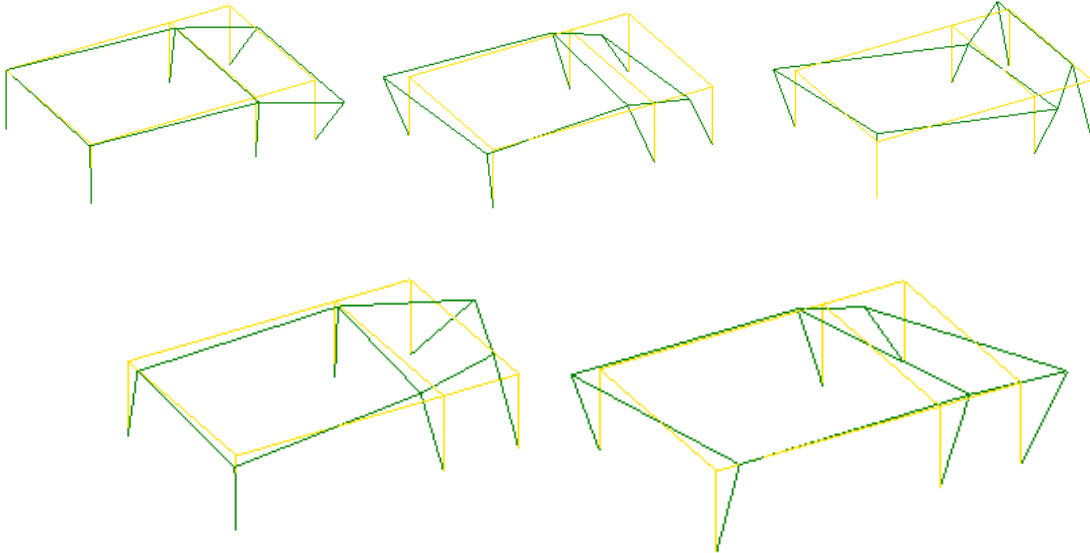
Şekil 22. Tavanlı Cami’deki ölçümde veri toplama sistemine ait görüntüler



Şekil 23. Camiye ait GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum

Tablo 3. Tavanlı Camisinde ölçülen ilk beş doğal frekansı ve sönüm oranı

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	5.105	1.151
2	6.130	0.500
3	9.203	0.703
4	9.613	0.724
5	10.240	1.076



Şekil 24. Tavanlı Cami'nin için ilk beş mod şekli

Değerlendirme

Üzerinde çalışılan her üç cami de geometrik olarak benzeşen yiğma duvarlı ahşap çatılı camilerdir. Taban alanı ve yükseklik bakımından değerlendirildiğinde küçükten büyüğe; Hopa

Sundura Camisi, Trabzon Tavanlı Cami ve Rize Gülbahar Büyük Camii olarak sıralanmaktadır. Aşağıda camilerin frekans ve sönüm oranlarının karşılaştırmaları yapılmaktadır.

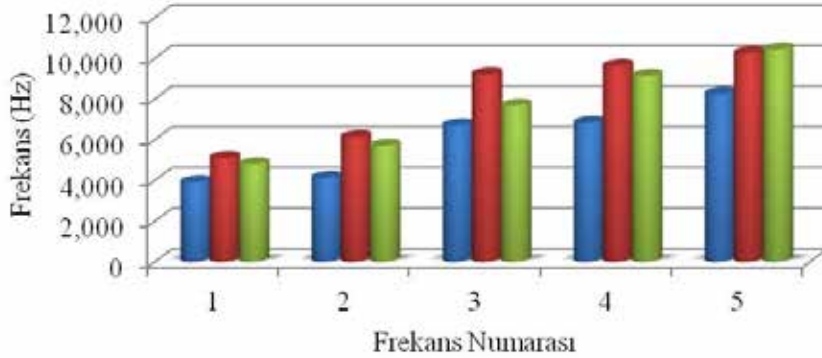
Doğal Frekanslar ve Mod Şekilleri

Yapıların deneysel olarak tespit edilmiş doğal frekansları Tablo 4'te birlikte verilmektedir. Şekil 25'te camilerin ilk beş frekansın değişimi gö-

rülmektedir. Tablo 4 ve Şekil 25 irdelendiğinde, ilk beş doğal frekansın 4-10 Hz arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir.

Tablo 4. Seçilen Camilerin ilk beş doğal frekansları

Mod Numarası	Doğal Frekanslar (Hz)		
	Hopa Sundura Camii	Trabzon Tavanlı Camii	Rize Gülbahar Camii
1	3.910	5.105	4.801
2	4.129	6.130	5.700
3	6.701	9.203	7.668
4	6.824	9.613	9.130
5	8.243	10.240	10.430



Şekil 25. Camilerin ilk beş doğal frekansının değişimi

Tablo 4 incelendiğinde, Hopa Sundura Camisi'nin doğal frekanslarının 3.91Hz ile 8.243Hz arasında, Trabzon Tavanlı Cami'nin doğal frekanslarının 5.105Hz ile 10.240Hz arasında ve Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Cami'nin doğal frekanslarının 4.801Hz ile 10.430Hz arasında değiştiği görülmektedir. Camilerin ilk doğal

frekans değeri ise 3.91-5.105Hz arasında değişmektedir. Genel olarak her mod için frekans değerlerinin birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Camilerin mod şekilleri incelendiğinde, 1. mod şeklinin tüm camilerde aynı yönde yanal hareket olduğu görülmektedir.

Sönüm Oranları

Yapıların deneysel olarak tespit edilmiş sönüm oranları Tablo 5'te birlikte verilmiştir. Hopa Sundura Camiinin sönüm oranları % 0.635 ile 3.815 arasında, Trabzon Tavanlı Cami'nin sönüm oranları % 0.500 ile 1.151 arasında ve Rize

Gülbahar Mahallesi Büyük Cami'nin sönüm oranları % 0.5239 ile 4.949 arasında değiştiği görülmüştür. Camilerin sönüm oranları arasında belirli bir uyum görülmemektedir. Oluşan maksimum sönüm oranı %4.959'dur.

Tablo 5. Seçilen camilerin ilk beş sönüm oranları

Mod Numarası	Sönüm Oranları (%)		
	Hopa Sundura Camii	Trabzon Tavanlı Camii	Rize Gülbahar Camii
1	2.163	1.151	0.524
2	1.317	0.500	2.255
3	0.635	0.703	4.949
4	3.815	0.724	3.625
5	0.967	1.076	2.031

Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan ahşap çatılı camilerin dinamik karakteristiklerinin deneysel yöntemlerle tespit edilmesi amaçlanmış ve uygulama olarak, Rize Gülbahar Mahallesi Büyük Camii, Artvin Hopa Sundura Mahallesi Camisi ve Trabzon Merkez Tavanlı Cami örnek olarak seçilmiştir. Camilerin dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle belirlenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır. Söz konusu bölgenin kültürel mirası konumundaki tipik ahşap çatılı camilerin deneysel karakteristiklerinin tespitine ilişkin bu süreçten önce yapılmış çalışmalar bulunmadığından veriler yalnızca kendi içlerinde kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Hopa Sundura Camisi'nin doğal frekansları 3.91 Hz ile 8.243 Hz arasında, sönüm oranları % 0.635 ile 3.815 arasında değişmektedir.

Trabzon Tavanlı Cami'nin doğal frekansları 5.105 Hz ile 10.240 Hz arasında, sönüm oranları % 0.500 ile 1.151 arasında değişmektedir.

Rize Gülbahar Büyük Cami'nin doğal frekansları 4.801 Hz ile 10.430 Hz arasında, sönüm oranları % 0.524 ile 4.949 arasında değişmektedir.

Genel olarak her mod için frekans değerlerinin birbiriyle uyum içerisinde olduğu ve çok değişim göstermediği görülmektedir.

Camilerin 1. modu yanal hareket olarak oluşmuştur.

Camilerin sönüm oranları arasında belirli bir ilişki görülmemektedir. Ancak, maksimum yaklaşık %5 değerine ulaşmaktadır.

Deneysel sonuçlara göre Doğu Karadeniz Bölgesi tarihi yığma taş ve ahşap çatılı camileri için birinci doğal frekans değerinin 4-5Hz arasında değiştiği kabul edilebilir. Çalışma sonuçlarının genelleştirilmesi için benzer özellikli birçok camide ölçümler gerçekleştirilerek, frekans değerleri için ampirik bir formülasyon geliştirilebilir. Bu ve benzeri deneysel çalışmalar ile kültür mirası olarak gelecek nesillere bırakacağımız emanetlerin yapısal davranışları hakkında veri havuzu genişlemekte ve daha etkin analiz ve uygulama imkânı sağlanmaktadır.

Kaynaklar

- Akan, Aslı Er., (2010). "Tarihi Ahşap Sütunlu Camilerin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi", *SDU International Technologic Science*, 2, 1, s. 41-54.
- Atamturktur, S., Bornn, L., Hemez, F., (2011). Vibration Characteristics of Vaulted Masonry Monuments Undergoing Differential Support Settlement, *Engineering Structures* 33, s. 2472-2484.
- Bayraktar, Alemdar ve Sevim, B., Altunışık, A.C., Türker, T., (2007). "Tarihi Yiğma Minarelerin Deprem Güvenliklerinin Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi", *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1 Bildiriler Kitabı*, s. 415-428.
- Bayraktar, Alemdar ve Türker, T., Sevim, B., Altunışık, A.C., Yıldırım, F., (2009). "Modal Parameter Identification of Hagia Sophia Bell-Tower via Ambient Vibration Test", *Journal of Nondestructive Evaluation*, 28, 1, s. 37-47.
- Bayraktar, Alemdar ve Türker, T., Altunışık, A.C., Sevim, B., (2011). "Structural System Identification of Cultural Heritage Structures By Ambient Vibration Testing", *WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Conference Proceedings*, s. 163-173.
- Bayraktar, Alemdar ve Çalık, İ., Türker, T., (2013). "Restorasyon Sonrası Tarihi Sundura Camisi ve Minaresinin Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi", *Vakıf Restorasyon Yıllığı*, VGM İstanbul I. Bölge Yayını, 6, s. 53-62.
- Beyen, K., (2007). "17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Hasar Alan Fatih Camiinin Dinamik Karakteristiklerinin Tanımlanması", *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, Bildiriler Kitabı*, Cilt 1, 49-60.
- Can, Hüsnü ve Ünay, A. İ., (2012). Tarihi Yapıların Deprem Davranışını belirlemek için Sayısal Analiz Yöntemleri, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27, 1, s. 211-217.
- Creazza, G., Saetta, A. V., Matterazzi, R., Vitaliani, R. V., (2001). "Analysis of masonry structures reinforced by FRP", *Historical Constructions*, P.B. Lourenço, P. Roca (Eds), Guimaraes, s. 539-545.
- Çalık, İsmet ve Bayraktar, A., Türker, T., (2013). "Tarihi Yiğma Yapıların Dinamik Karakteristiklerine Restorasyon Etkisinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle Belirlenmesi: Rize Merkez Büyük Gülbahar Camisi Örneği", *Hatay, 25-27.09.2013. 2. Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Bildiriler Kitabı*, s. 75-90.
- Çalık, İsmet ve Bayraktar, A., Türker, T., (2014). "Structural Dynamic Identification of a Damaged and Restored Masonry Vault Using Ambient Vibrations", *Measurement*, 55, 1, s. 462-472.
- Çalık, İsmet ve Bayraktar, A., Türker, T., (2015). "Yiğma Taş Duvarlı Camiler İçin İlk Üç Doğal Frekans Aralığının Deneysel Olarak Belirlenmesi", *Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 11-14.05.2015. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı*, Cilt II, s. 1357-1368.
- Doğangün, Adem ve Ural A., Meraki, Ş., (2011). "Seismic Performance of the Main Entrance of Basılıca (Kızılavlu) at Bergama (İzmir)", *WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Conference Proceedings*, s. 333-344.
- Durukal, Eser ve Cimilli, S., Erdik, M., (2003). "Dynamic Response of Two Historical Monuments in İstanbul Deduced from The Recordings of Kocaeli and Duzce Earthquakes", *Bulletin of the Seismological Society of America*; 93, 2, s. 694-712.
- Gentile, C., Saisi, A., (2007). "Ambient Vibration Testing of Historic Masonry Towers for Structural Identification and Damage Assessment", *Construction and Building Materials*, 21, s. 1311-1321.
- Google Earth, (2014). Google Earth 7.1.3, www.google.com/earth.
- Horuloğlu, Şamil (1978). *Tarihi Eserleri ile Trabzon*, Ankara.

Karpuz, Haşim (1993), *Rize*, T.C. Kültür Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Lourenço, P. B., Ramos, L., F., (2011). "Dynamic Identification and Monitoring of Cultural Heritage Buildings", *WCCE-ECCE-TCCE Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage*, Keynote Papers, s. 55-78.

OMA, (2006). *Operational Modal Analysis*, Release 4.0, Structural Vibration Solution A/S, Denmark.

Özen, Hamiyet, Tuluk, Ö. İ., Engin H.E., Düzenli H.İ., Sümerkan, M.R., Tutkun M., Demirkaya, F.Ü., Keleş, S., (2009), *Trabzon Kent İçi Kültür Varlıkları Envanteri*, T.C. Trabzon Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü Yayınları.

PULSE, (2006). *Analyzers and Solutions*, Release 11.2. Bruel and Kjaer, Sound and Vibration Measurement A/S, Denmark.

Restorasyon Projesi, (2006), Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Ark İnş. Mimarlık Ankara, Türkiye.

Restorasyon Projesi, (2010), Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Gün-Art Mimarlık, Trabzon, Türkiye.

Restorasyon Projesi, (2012), Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Zan İnş. Mimarlık Müh. Müş. Ltd. Şti, Trabzon, Türkiye.

Turek, M., Ventura, C.E., Placencia, P., (2002). Dynamic characteristic of a 17th century church in Quito, *Internat Soc. Opt. Eng. 2002, IMAC-XX, Conference & Exposition on Structural Dynamics*, 4753, 2, s. 1259-1264.