



Betonarme kubbelerin taş yığma duvarlı camilerin dinamik davranışına etkisinin çevresel titreşim yöntemiyle incelenmesi

İsmet Çalık^{1*}, Alemdar Bayraktar², Temel Türker²

¹Vakıflar Genel Müdürlüğü, Trabzon Bölge Müdürlüğü, Trabzon

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Ö N E Ç I K A N L A R

- Taş yığma camiler
- Çevresel titreşim testi
- Restorasyon etkisi

Makale Bilgileri

Geliş: 30.06.2015

Kabul: 31.05.2016

DOI:

10.17341/gummfd.00703

Anahtar Kelimeler:

Çevresel titreşim testi,
betonarme kubbeler,
tarihi yapılar,
camiler,
akçaabat dürbinar camisi

ÖZET

Geçmişin birikimlerinin geleceğe aktarımı konusunda belge özelliği taşıyan han, hamam, cami, kilise, çeşme, köprü gibi tarihi eserler zaman içinde doğal afetler veya canlıların tahribatları neticesinde çeşitli hasarlara maruz kalmaktadırlar. Genellikle en sık rastlanılan bilinçsiz müdahale şekillerinden biri, ahşap çatılı tarihi yığma camilerin ahşap çatısının yerine betonarme kubbe yapılmasıdır. Bu çalışmada, bu tip müdahalelerin tarihi taş duvarlı camilerin dinamik özelliklerini nasıl etkidiğinin belirlenmesini amaçlanmaktadır. Örnek olarak seçilen Trabzon'un Akçaabat ilçesinde bulunan Dürbinar Mahallesi Camisi, 2013 yılında Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından restore edilmiştir. Dışı doğal kesme taş içi moloz taş örgülü yığma duvarlar üzerine sonraki dönemlerde eklenmiş betonarme kubbe, mahfil ve son cemaat mekanı ile orijinal karakterinden bir hayli uzaklaşmış yapı, gerçekleştirilen restorasyon sonrası orijinal haline dönüştürülmüştür. Yapılan bu uygulama kapsamında eserin restorasyon öncesi dinamik özellikleri Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle ölçülmüş ve mevcut duruma ait doğal frekanslar, mod şekilleri ve modal sönüm oranları belirlenmiştir. Restorasyon uygulamasının ardından ölçümler tekrarlanmış ve onarım sonrası durum için dinamik karakteristikler tekrar belirlenmiştir. Elde edilen veriler irdelenmiş ve özellikle yapıya sonradan eklenmiş betonarme elemanların dinamik davranış üzerine etkisi ile restorasyon uygulamalarının etkileri değerlendirilmiştir.

Determination of the effect on the dynamic behaviour of historical masonry mosques reinforced concrete domes by ambient vibration testing

H I G H L I G H T S

- Masonry mosques
- Ambient vibration test
- Effect of restoration

Article Info

Received: 30.06.2015

Accepted: 31.05.2016

DOI

10.17341/gummfd.00703

Keywords:

Ambient vibration test,
reinforced concrete domes,
historical structures,
mosques,
akçaabat dürbinar mosque

ABSTRACT

The historical structures create a connection between our past and future in terms of cultural view. These structures, such as caravanserais, hammams, fountains, mosques, bridges, have been exposed to the environmental and human being damaging effects. It has observed in many mosques that the wooden roofs were converted to the reinforced concrete domes in the traditional mosques. In this study, it is aimed to determine the effects of this application on the dynamic behavior of the masonry mosques. The Dubinar Mosque, which was restored in 2013 by Regional Directory of Foundation, in the Akçaabat, Trabzon, was selected for this study. The mosque which composed of both rubble and cut stone walls, had lost the originality by adding concrete domes, gathering place and entrance to the main body. It was gained back the original characteristics of the mosque by the restoration. The dynamic characteristics, natural frequencies, mode shapes and modal damping ratios, were attained for the unrestored and restored cases by Ambient Vibration Test and compared with each other. The results were evaluated in terms of both the effects of the additional members on the dynamic behavior and restoration applications.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: temelturker@ktu.edu.tr / Tel: +90 462 377 2619

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşınmaz kültür varlığı olarak geleceğe taşımak zorunda olduğumuz geçmişin mirası eski eserler, zaman içinde doğal afetler veya canlıların tahribatları neticesinde çeşitli hasarlara maruz kalmaktadırlar. Eserlerin bu hasarlarının giderilmesi ve gelecek nesillere orijinal özellikleriyle aktarılması için tarih boyunca restorasyon çalışmaları hep yapılmıştır. Zamanın bilim ve tekniğinin el verdiği ölçüde yapılan restorasyonlar artık günümüz teknolojisinin ve araştırmalarının yol gösterdiği şekilde daha bilimsel veriler ışığında yürütülmektedir. Buna rağmen yapılan restorasyon çalışmalarının özellikle yapısal anlamda statik ve dinamik davranışa etkilerinin mimari açıdan yapılan değerlendirmelerin gerisinde kaldığı görülmektedir. Bu nedenle tarihi eserlerin restorasyonlarının yapısal anlamda da değerlendirilmesi ve restorasyon yöntemlerinin yapının dinamik karakteristiklerine etkisinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Tarihi eserlerin yapısal davranışlarının belirlenmesi ile ilgili analitik ve deneysel yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Turek vd., Güney Amerikada Ekvator'un Quito kentinde yer alan tarihi La Iglesia de la Compañía de Jesus kilisesinin çevresel titreşim testi yöntemiyle analizini yapmışlardır [1]. Durukal vd., çalışmalarında İstanbul Aya Sofya Camisi ve Sultanahmet Camilerinin 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerine tepkilerini titreşim testlerinde oluşan değişimlerinden faydalanarak araştırmışlardır [2]. Gentile ve Saisi; 17.yy da yapılmış 74m uzunluğunda tarihi çan kulesinin çevresel titreşim testi ile hasar tespitine ilişkin çalışma yapmışlardır [3]. Bayraktar vd., çalışmalarında kiliseden dönme Trabzon Ayasofya Camisinin minare olarak kullanılan çan kulesinin çevresel titreşim testi ile yapılan ölçümleri sonucunda dinamik karakteristikleri belirlenmiştir [4]. Bayraktar vd., tarihi yapılarda çevresel titreşim testi yöntemi ile yapısal davranış analizi üzerine çalışmışlardır [5]. Aras vd., çalışmalarında İstanbul'da 1861-1865 yılları arasında yapılmış tarihi yığma yapılar üzerinde modal parametrelerin tespitini deneysel ve analitik olarak yapmışlardır [6]. Atamturktur vd., çalışmalarında İngiltere'de Beverley Manastırında titreşim testleri ile hasar tespiti yapmışlardır [7]. Elde edilen bulgulardan titreşim testleri ile duvar, kubbe, tonoz hasarlarının tespitinde titreşim testlerinin başarılı ve hızlı sonuç verdiğini değerlendirmişlerdir. Lourenço ve Ramos, hasarsız deneysel yöntemler ile tarihi eserlerde deneysel çalışma yapmışlardır [8]. Titreşim testleri ile, laboratuvar ortamında kurulan yığma kemerde hasar tespiti yapmışlardır. Atamturktur ve Laman, tarihi eserlerin kompleks yapısı, malzemelerin homojen olmayan özellikleri ve karmaşık düzenleri nedeniyle analitik modellenmesinin yapılmasının zorluğunu ortaya koymuşlardır [9]. Çalışmalarında analitik model kalibrasyonu ile ilgili öneriler sunmuş ve çeşitli tarihi eserler üzerinde uygulamalar yapmışlardır. Votsis vd., Kıbrıs'ta bulunan iki tarihi yapının Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle ile yapısal özelliklerini tespit etmişlerdir [10]. Can ve Ünay tarafından tarihi yapıların deprem davranışlarını belirlemek için sayısal yöntemlerle ilgili bir çalışma yapılmıştır [11]. Bu çalışma kapsamında, yapı mühendisleri tarafından geliştirilen sayısal modellerin ve

yapılan hesapların mimarlar, restorasyon uzmanları ve mimarlık tarihçileri tarafından da kolaylıkla anlaşılmasını hedeflenmiş ve bu kapsamda açıklayıcı bir sistematik anlatılmıştır. Tashkov vd., çalışmalarında Makedonyada bulunan Mustafa Paşa Camisinin büyük ve orta ölçekli modelinin sarsma tablasında dinamik davranışları ve hasar davranışları üzerinde karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır [12]. Bayraktar vd., restorasyon sonrası tarihi Artvin Hopa Sundura Camisi ve minaresinin çevresel titreşim testi yöntemi ile dinamik özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır [13]. Çalık vd., çalışmalarında yığma taş minarelerin analitik ve deneysel yöntemlerle güvenilirlik belirlenmesini yapmıştır. Trabzon Merkez Muhittin Camisi Minaresinin dinamik karakterleri belirlenmiş ve analitik modeller bu veriler ışığında güncellenerek yapı güvenilirliği belirlemiştir [14]. Çalık vd., tarihi yığma yapıların dinamik karakteristiklerine restorasyon etkisinin çevresel titreşim yöntemiyle belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada Rize Merkez Büyük Gülbahar Camisinin restorasyon etkisi ile dinamik karakteristiklerinin değişimini incelemişlerdir [15]. Çalık vd., hasarlı ve güçlendirilmiş tonozun dinamik karakteristiklerinin çevresel titreşim yöntemi ile deneysel olarak belirlenmesi ve karşılaştırılması üzerine çalışmışlardır [16]. Fırat ve Eren, yedi adet kemer numunesinden oluşturulan kemerlere oluşturulan hasarlara karşı değişik FRP ile güçlendirme teknikleri deneysel olarak incelenmiştir [17].

Yapılan çoğu çalışmada, tarihi yapıların yapısal davranışlarının analitik olarak belirlenmesindeki zorluklardan bahsedilmektedir. Ayrıca, restorasyon uygulamalarının tasarlanması ve bu uygulamaların yapısal davranışa etkilerinin değerlendirilmesindeki güçlükler ortaya konulmaktadır. Eski eser camilere insanlar tarafından yapılan etkiler, bu yapıların sağlığını deprem ve yangın gibi doğal afetlerden sonra en fazla olumsuz etkileyen faktördür. Bu müdahalelerden, ahşap çatılı camilerin çatılarının kaldırılarak betonarme kubbeli hale dönüştürülmesi en sık rastlanılan ve eseri yapısal olarak en fazla etkileyen müdahalelerdendir. Betonarme kubbe eklentisi olan yapıların dinamik karakteristiklerinin nasıl değiştiğinin irdelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, Trabzon'un Akçaabat ilçesindeki Dürbinar Camisi örnek olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında, caminin betonarme kubbeli halinin ve restorasyon sonrası yıkılarak ahşap çatılı hale getirilen halinin dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi yöntemiyle belirlenmiş ve karşılaştırması yapılmıştır.

2. AKÇAABAT DÜRBİNAR CAMİSİ (AKÇAABAT DURBINAR MOSQUE)

Trabzon İli Akçaabat İlçesi Dürbinar Mahallesi Hacimesut Sokak, 160 ada 14 parselde yer alan cami Trabzon Kültür Varlıklarını Koruma Kurulunun 18.12.1992 tarih ve 1506 sayılı kararı ile taşınmaz kültür varlığı olarak tescil edilmiştir. Eserin mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğüne aittir. Yapının konumunu belirtir harita Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Dürbinar Camisi Akçaabat, Trabzon, Türkiye.
(Dürbinar Mosque, Akçaabat, Trabzon Turkey)

Akçaabat Dürbinar Mahallesi Camii, R.1159/M.1743 yılında inşa edilmiştir. Yapının orijinal kitabesi günümüze gelmediğinden banisi bilinmemektedir. Cami 1980'li yıllarda tadilat görmüş ve mimari bakımdan büyük oranda

değişikliğe uğramıştır. Özgünlüğünü büyük ölçüde yitiren yapı, yöresel cami kimliğinden de uzaklaşmıştır [18]. Bu onarımda yapıya betonarme kubbe, mahfil ve son cemaat mekanı eklenmiş ve kuzeydoğusuna camiye oranla çok yüksek betonarme bir minare yapılmıştır. Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2013-2014 yıllarında gerçekleştirilen onarım kapsamında Koruma Kurulu onaylı projesine göre yapı eklentilerinden arındırılmış ve betonarme kubbesi yıkılarak ahşap çatılı hale dönüştürülmüştür. Eserin 2013-2014 yılları restorasyon öncesi ve sonrası halini gösterir fotoğraflar Şekil 2'de, ve kat planı, kesit ve cephe görünüşleri Şekil 3'te sunulmuştur. Boyuna dikdörtgen planlı Dürbinar Mahallesi Camiinin beden duvarları, kesme ve moloz taş kullanılarak inşa edilmiştir. Kuzey cephede alt katta giriş kapısının sağında ve solunda iki adet ve üst katta iki adet olmak üzere toplam dört pencere bulunmaktadır. Caminin doğu cephesinde ise harim katında ve üst katta üçer adet olmak üzere toplam altı

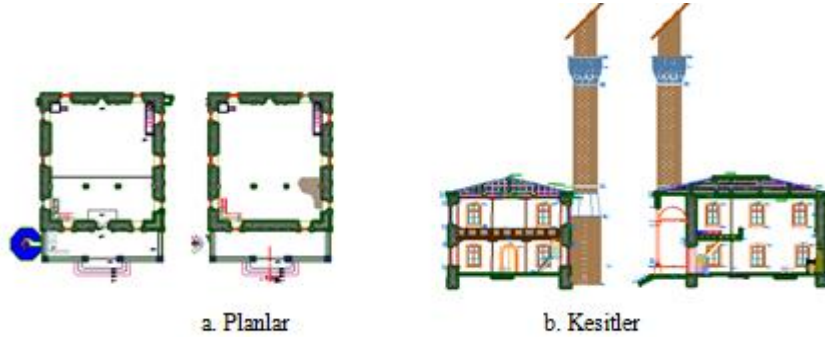


a. Restorasyon öncesi



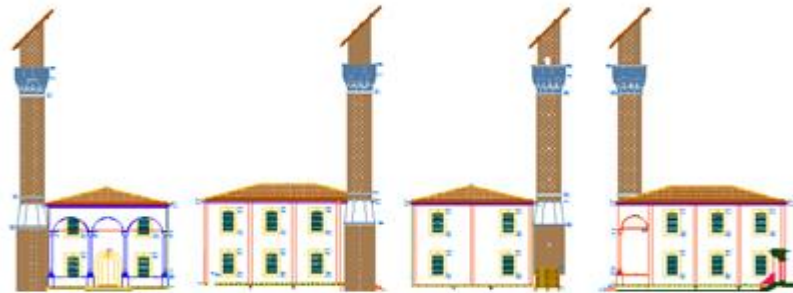
b. Restorasyon sonrası

Şekil 2. Dürbinar Camisinin restorasyon öncesi ve sonrasına ait görüntüler
(The images of Dürbinar Mosque before and after the restoration)



a. Planlar

b. Kesitler



c. Görünüşler

Şekil 3. Dürbinar Camisi kat planı, kesit ve cephe görünüşleri [19]. (Dürbinar Mosque's side view and floor plans)

adet pencere mevcuttur. Tüm pencereler dikdörtgen formda, taş söveli, basık kemerli ve koç boynuzu motifli demir parmaklıklıdır. Harim katı pencerelerinde kilit taşı mevcuttur. Cephedeki silmeler son derece sadedir. Yapının güney cephesinde, harim katında ve üst katta ikişer adet olmak üzere toplam dört pencere yer almaktadır. Bu pencereler de dikdörtgen formda, basık kemerli, kesme taş söveli, demir parmaklıklıdır. Yapının batı cephesi de doğu cephesi ile tamamen simetriktir. Bu cephede de alt ve üst katta üçer adet olmak üzere toplam altı adet pencere yer almaktadır. Pencere formları da yapının özgün pencereleri ile aynıdır. Silmeler cephelerde hareketliliği sağlayan unsurlardandır [16]. Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2013-2014 yıllarında restorasyonu tamamlanan eser, hali hazırda ibadete açık olup, fiilen kullanılmaktadır. Şekil 4'te Dürbinar Camisinin restorasyon sonrasına ait iç ve dış mekan görüntüleri verilmektedir.

3. DÜRBİNAR CAMİSİ RESTORASYON UYGULAMALARI (RESTORATION APPLICATIONS OF DURBINAR MOSQUE)

Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2013-2014 yıllarında tamamlanan restorasyon çalışmaları kapsamında camide aşağıdaki sıralanan müdahaleler yapılmıştır: Betonarme olarak yapılmış eklenti betonarme son cemaat mekânı, mahfil katı ve kubbe yıkılarak yapı arındırılmış, çatı ahşap olarak inşa edilmiştir. Son cemaat mekânı projesi doğrultusunda teşkil edilmiştir. Mahfile çıkış merdiveni, yer döşemesi, pencere doğramaları, tavan kaplamaları ve minberi ahşap olarak teşkil edilmiş, mevcut taş mihrap

raspa edilerek ortaya çıkarılmıştır. Yapının özgün olmayan kuzey cephesi, projesine göre eklentilerinden arındırılmış ve kuzey cephe duvarı tamamlanmıştır. Yonu taşı mihrap yağlı boyalardan temizlenmiş ve orijinal taş ve ahşap öğeler ortaya çıkarılmıştır. Camideki çimentolu iç sıva horasan sıva olarak yenilenmiştir. Cami dış cepheleri sıvadan arındırılmış ve derzlenerek orijinal taş doku ortaya çıkarılmıştır. Dış sıvanın sökülmesi neticesinde ortaya çıkan moloz ve kesme taş elemanlarda gerekli görülürde çürütme yapılmıştır. Betonarme minare boyanmış, külâhı kurşun kaplanmıştır. Caminin doğusunda zemin altına tuvalet, avluda ise şadırvan yapılmıştır. Çevre düzenlemesi yapılmıştır. Elektrik tesisatı yenilenmiş ve çevre aydınlatmaları yapılmıştır. Caminin onarım ve restorasyonuna ilişkin görüntüler Şekil 5'te verilmektedir.

4. ÇEVRESEL TİTREŞİM TESTLERİ (AMBIENT VIBRATION TESTS)

Çevresel Titreşim Testi Yöntemi, mevcut yapıların dinamik davranışlarını yansıtan ve doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranı olarak adlandırılan dinamik karakteristiklerinin deneysel ölçümler kullanılarak belirlenmesinde etkin bir yöntemdir. Tahribatsız uygulama özelliğinden dolayı, tarihi yapılar için oldukça kullanışlı ve tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntemde, yapı taşıt yükü, rüzgar veya yaya hareketi gibi bilinmeyen çevresel etkilerle uyarılmakta ve yapının bu etkilere verdiği tepkiler ölçülmektedir. Dürbinar Mahallesi Camiinde yapılan ölçümler, Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde titreşim verilerini



a. Dış görüntü



b. İç görüntü

Şekil 4. Dürbinar Camisine ait dış ve iç mekan görüntüleri (Views of the restored Dürbinar Mosque)



a. Kuzey cephe



b. Güney cephe

Şekil 5. Dürbinar Camisi restorasyonuna ait görüntüler (The images of Dürbinar Mosque during the restoration)

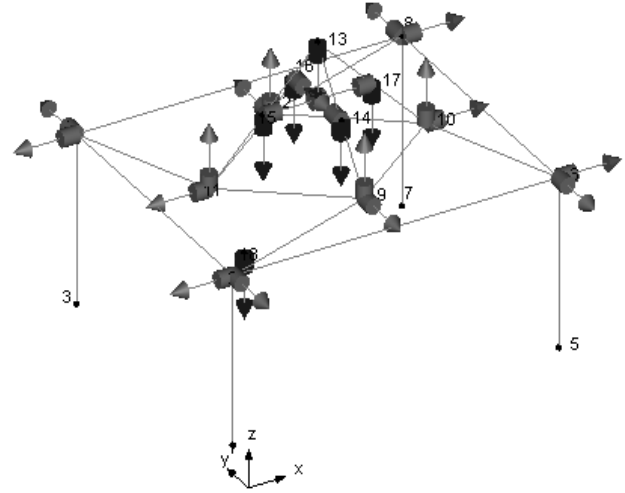
toplayabilmek amacıyla sismik ivmeölçerler, ivmeölçerlerden alınan sinyalleri biriktirmek amacıyla veri toplama ünitesi ve sinyalleri işlemek amacıyla sinyal işleme programları kullanılmıştır. İvmeölçerler olarak B&K8340 tipinde kablolu ivmeölçerler, veri toplama ünitesi olarak 17 kanallı Brüel&Kjaer3560 veri toplama ünitesi kullanılmıştır. Toplanan veriler PULSE yazılımı aracılığıyla bilgisayara aktarılmış ve OMA yazılımıyla yapının dinamik karakteristikleri elde edilmiştir [20-21].

4.1. Restorasyon Öncesi Durum Ölçümleri (Measurements Before the Restoration)

Dürbinar Mahallesi Camisinde gerçekleştirilen ölçümde toplam 16 adet ivmeölçer kullanılmıştır. Ölçüm süreci iki aşamalı olarak yapılmış ilk aşamada 8 adet ivmeölçer ve bir adet referans ivmeölçer yapıya monte edilerek 30 dakikalık ölçüm alınmıştır. İkinci aşamada ise referans ivmeölçer ile beraber caminin köşe noktalarına ivmeölçerler bağlanmış ve 30 dakikalık ölçüm alınmıştır.

Bu iki ölçüm verileri referans ivmeölçer vasıtası ile birleştirilerek yapının restorasyon öncesi dinamik karakteristikleri elde edilmiştir. Söz konusu ölçümlerde yapının enine ve boyuna doğrultulardaki hareketlerini ölçecek şekilde hareketler incelenmiştir. Şekil 6'da ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir. Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla yapıyı temsilen oluşturulan model Şekil 7'de verilmektedir.

Caminin restorasyon öncesi durumuna ait alınmış ölçüm 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 8'de verilen spektrum yardımıyla elde edilmiştir [22]. Tablo 1'de ise restorasyon sonrası durum için caminin ilk beş doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranı verilmektedir. Camide yapılan ölçümlerden elde edilen ilk üç mod şekli ise Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 7. Dürbinar Camisindeki restorasyon öncesi ivmeölçer yerleşim düzeni

(A representative model of accelerometers location on measurement before the restoration)



a. Duvar bağlantıları

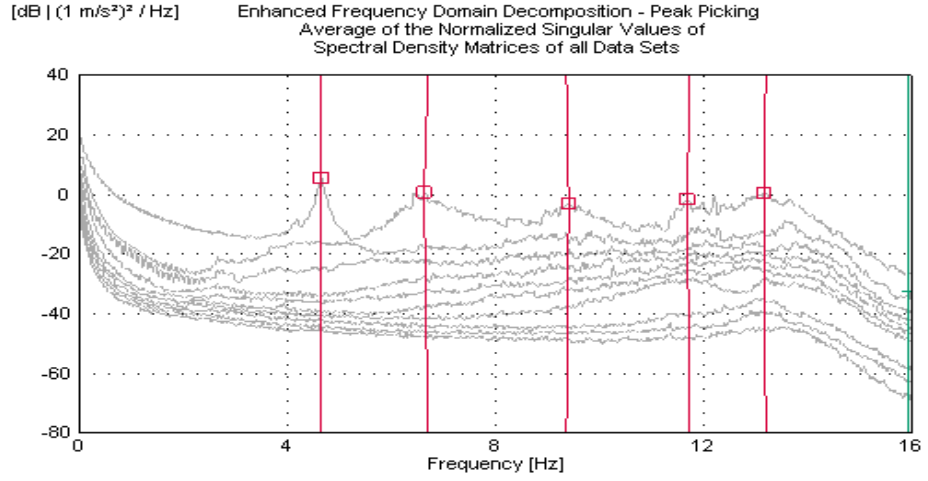


b. Kubbe bağlantıları

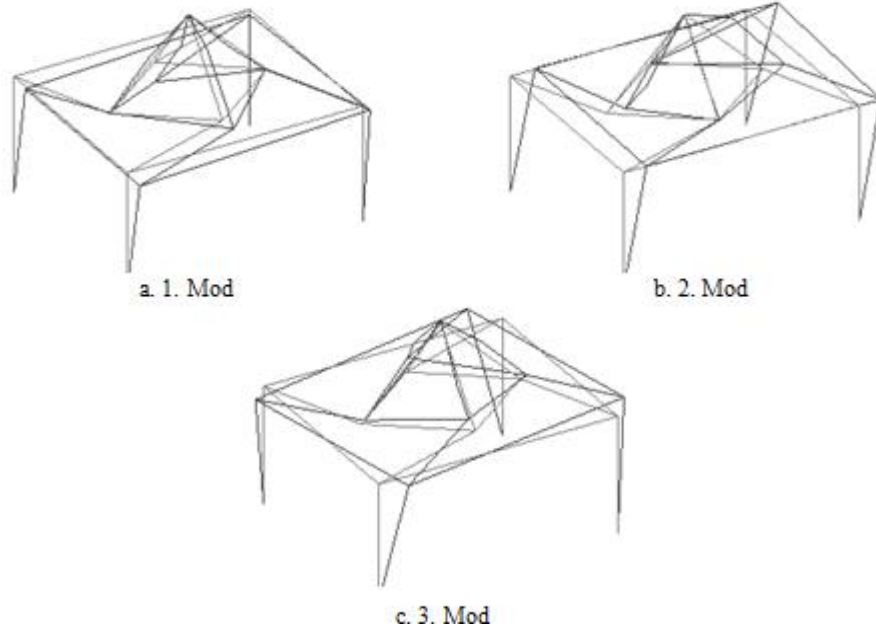


c. Ölçüm sistemi

Şekil 6. Dürbinar Camisindeki ölçümde ivme ölçer yerleşimi veri toplama sistemi
(Footage of accelerometer placement and data gathering system of Dürbinar Mosque)



Şekil 8. Restorasyon öncesi yapılan ölçümlerde piklerin seçilmesi yöntemiyle elde edilen tekil değerler
(The frequency response function obtained from the mosque before the restoration measurement)



Şekil 9. Dürbinar Camisinin restorasyon öncesi durumuna ait ilk üç deneysel mod şekli
(First three mode shapes of Dürbinar Mosque before the restoration)

Tablo 1. Caminin restorasyon öncesi durumda ölçülen ilk üç doğal frekans ve sönüm oranı
(The first three natural vibration frequency and damping ratios of the mosque before the restoration)

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	4,663	1,250
2	6,718	6,056
3	9,378	1,721



a. Köşe duvar bağlantıları



b. Cephe duvar bağlantıları



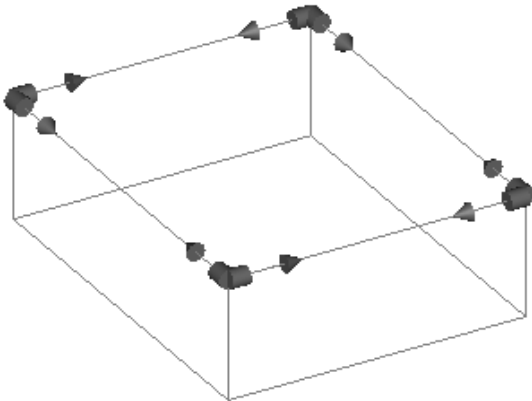
c. Ölçüm sistemi

Şekil 10. Dürbinar Camisi restorasyon sonrası ölçümüne ait görüntüler
(The images of measurements of Dürbinar Mosque after the restoration)

4.2. Restorasyon Sonrası Durum Ölçümleri (Measurements After the Restoration)

Dürbinar Mahallesi Camisinde restorasyon sonrası gerçekleştirilen ölçümde toplam 8 adet ivmeölçer kullanılmıştır. Caminin köşe noktalarına ivmeölçerler bağlanarak 30 dakikalık ölçüm alınmıştır. Şekil 10'da ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir.

Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla yapıyı temsilen oluşturulan model Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil 11. Dürbinar Camisindeki restorasyon sonrası ölçüme ait ölçüm düzeni
(A representative model of accelerometers location on measurement after the restoration)

Caminin restorasyon sonrası durumuna ait elde edilen sinyaller analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayırıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 12'de verilen spektrum yardımıyla elde edilmiştir.

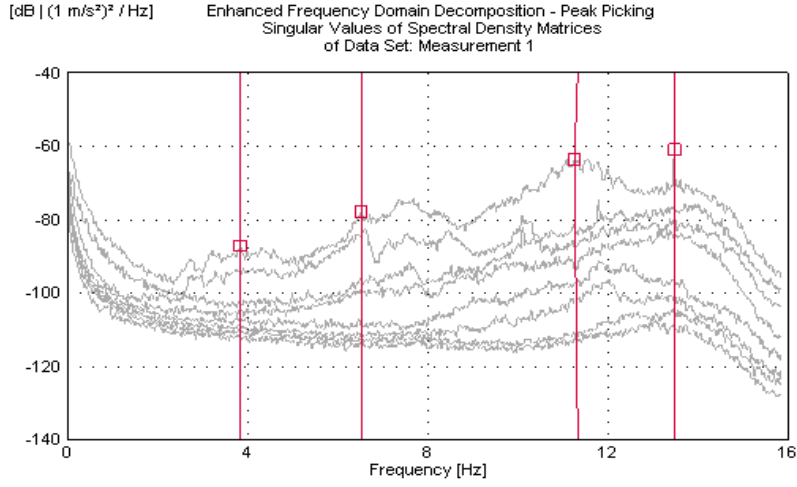
Tablo 2'de ise restorasyon sonrası durum için caminin ilk üç doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranı verilmektedir. Camide yapılan ölçümünden elde edilen ilk üç mod şekli ise Şekil 13'te verilmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

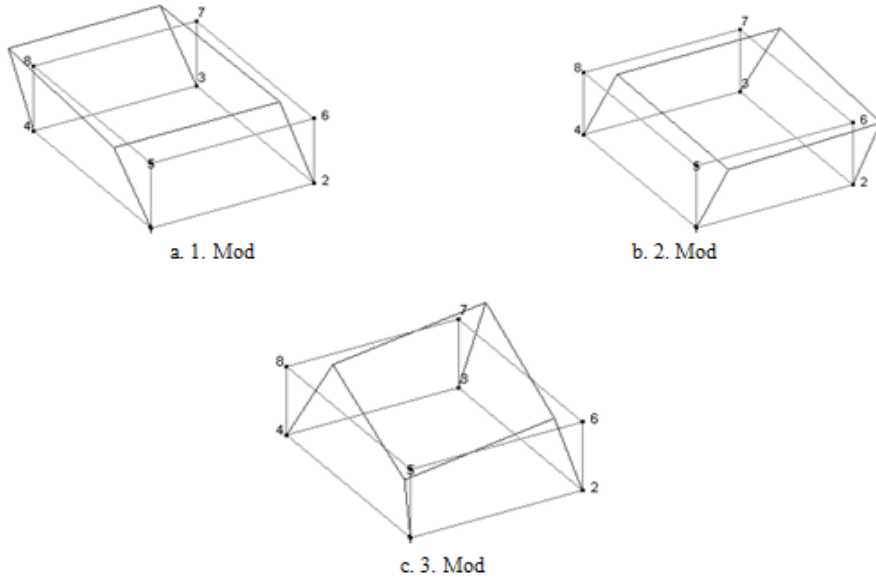
Akçaabat Dürbinar Camisinin restorasyon öncesi ve sonrasına ait çevresel titreşim testi ile elde edilen doğal frekanslar ve sönüm oranları karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Caminin doğal frekanslarında ilk iki modda azalma diğer modlarda ise artışın olduğu gözlenmiştir. Bu değişimde betonarme kubbe ve alt kasnak elemanlarının rijit davranışının etkisi olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar kütle azalmasından dolayı frekansın artması beklense de, rijitliğin azalmasıyla oluşan etki kütle azalmasıyla oluşan artış etkisini bertaraf ederek frekanslarda azalmaya sebep olduğu değerlendirilmiştir.

Mod şekilleri karşılaştırıldığında restorasyon öncesi ve sonrası 1. ve 2. mod şekillerinin enine ve boyuna hareket, 3. mod şeklinin ise burulma şeklinde olduğu görülmektedir.



Şekil 12. Caminin restorasyon sonrası durumuna ait davranış spektrumu.
(The frequency response function obtained from the mosque after the restoration measurement)



Şekil 13. Dürbinar Camisinin restorasyon sonrası durumuna ait ilk üç deneysel mod şekli
(First three mode shapes of Dürbinar Mosque after the restoration)

Tablo 2. Caminin restorasyon sonrası durumda ölçülen ilk üç doğal frekans ve sönüm oranı
(The first three natural vibration frequency and damping ratios of the mosque after the restoration)

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	3,851	5,900
2	6,526	0,532
3	11,34	3,228

Tablo 3. Dürbinar Camisi doğal frekansı ve sönüm oranlarının restorasyon etkisi ile değişimi
(The change of first three natural vibration frequency and damping ratios of Dürbinar Mosque by restoration effects)

Mod Numarası	Restorasyon Öncesi		Restorasyon Sonrası	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	4,663	1,250	3,851	5,900
2	6,718	6,056	6,526	0,532
3	9,378	1,721	11,34	3,228

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında Trabzon'un Akçaabat ilçesindeki Dürbinar Mahallesi Camisinin restorasyon öncesi ve sonrası durumuna ait dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Caminin restorasyon öncesi ilk üç moduna ait doğal frekansları 4.663Hz ile 9.378 Hz arasında; sönüm oranları ise %1,25 ila % 6,056 arasında belirlenmiştir. Caminin restorasyon sonrası ilk üç moduna ait doğal frekansları 3.851Hz ile 11.34 Hz arasında; sönüm oranları ise %0,532 ila % 5,90 arasında belirlenmiştir. Caminin restorasyon öncesi durumundaki betonarme kubbe, kasnak ve mahfil gibi elemanlarının etkisi ile daha rijit davrandığı, orijinal karakterine dönüştürüldüğünde ise rijitliğinde azalmanın etkisiyle doğal frekanslarda azalma olduğu görülmektedir. Eski eser camilere yapılan yaygın müdahale tekniklerinden biri olan betonarme kubbe eklenmesi durumunun, eserlerin dinamik karakteristiklerine önemli etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Tarihi yığma camileri gelecek nesillere sağlıklı şekilde aktarımının yapılabilmesi için orijinal karakteristiklerinin dışında müdahalelerden kaçınılmasına önem verilmelidir. Tarihi yığma camilere müdahaleler yapılırken, yapının statik ve dinamik anlamda riskli duruma sokulmaması için gerekli incelemeler yapılmalıdır. Sonuçların genelleştirilmesi için birçok kubbeli ve kubbesiz yığma taş tarihi cami üzerinde hasarsız deneysel ölçümler gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, 106M038 numaralı TÜBİTAK ve KTÜ BAP Projeleri ile oluşturulan ölçüm imkânları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında verdikleri izinler ve destekler dolayısı ile Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğüne, değerli personeline ve işin yüklenicisi Kemal Bektaş'a ve ölçüm aşamasında yardımcı olan yüksek lisans öğrencisi İrfan Kocaman'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Turek M., Ventura C.E., Placencia P., Dynamic characteristic of a 17th century church in Quito, Internat Soc. Opt. Eng. 2002, IMAC-XX, Conference & Exposition on Structural Dynamics, 4753 (2), 1259-1264, 2002.
2. Durukal E., Cimilli S., Erdik M., 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), 694-712, 2003.
3. Gentile C., Saisi A., Ambient Vibration Testing of Historic Masonry Towers for Structural Identification and Damage Assessment, Construction and Building Materials, 21, 1311-1321, 2007.
4. Bayraktar A., Türker T., Sevim B., Altunışık A.C., Yıldırım F., Modal Parameter Identification of Hagia Sophia Bell-Tower via Ambient Vibration Test, Journal of Nondestructive Evaluation, 28 (1), 37-47, 2009.
5. Bayraktar A., Türker T., Altunışık A.C., Sevim B., Structural System Identification of Cultural Heritage Structures By Ambient Vibration Testing, WCCE-ECCE-Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Conference Proceedings, 163-173, 2011.
6. Aras F., Kretevska L., Altay G., Tashkov L., Experimental and Numerical Modal Analysis of a Historical Masonry Place, Construction and Building Materials, 25 (1), 81-91, 2011.
7. Atamturktur S., Bornn L., Hemez F., Vibratioan Characteristics of Vaulted Masonry Monuments Undergoing Differential Support Settlement, Engineering Structures, 33, 2472-2484, 2011.
8. Lourenço P.B., Ramos L.F., Dynamic Identification and Monitoring of Cultural Heritage Buildings, WCCE-ECCE-Joint Conference 2, Seismic Protection of Cultural Heritage, Keynote Papers, 55-78, 2011.
9. Atamturktur S., Laman J.A., Finite Element Model Correlation and Calibration of Historic Masonry Monuments: review, Struct. Design Tall Spec. Build., 21, 96-113, 2012.
10. Votsis R.A., Kyriakides N., Chrysostomou C.Z., Tentele E., Demetriou T., Ambient Vibration Testing of Two Masonry Monuments in Cyprus, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 43, 58-68, 2012.
11. Can H., Ünay A.İ., Numerical Analysis Tools to Determine Earthquake Behavior of Historical Structures, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (1), 211-217, 2012.
12. Tashkov L.A., Krstevska L., Şafak E., Çaktı E., Edinçliler A., Erdik M., Comparative Study of Large and Medium Scale Mosque Models Tested on Seismic Shaking Table, 16.WCEE, Lisbon, 2012.
13. Bayraktar A., Çalık İ., Türker T., Restorasyon Sonrası Tarihi Sundura Camisi ve Minaresinin Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi, Vakıf Restorasyon Yıllığı, VGM İstanbul I. Bölge Yayını, 6, 53-62, 2013.
14. Çalık İ., Demirtaş B., Bayraktar A., Türker T., Yığma Taş Minarelerin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Güvenliğinin Belirlenmesi; Trabzon Muhittin Camisi Minaresi Örneği, Vakıflar Dergisi, 38, 121-140, 2012.
15. Çalık İ., Bayraktar A., Türker T., Tarihi Yığma Yapıların Dinamik Karakteristiklerine Restorasyon Etkisinin Çevresel Titreşim Yöntemiyle Belirlenmesi: Rize Merkez Büyük Gülbahar Camisi Örneği, 2. Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, 2013.
16. Çalık İ., Bayraktar A., Türker T., Structural dynamic identification of a damaged and restored masonry vault using Ambient Vibrations, Measurement, 55 (1), 462-472, 2014.

17. Fırat F.K., Eren A., Investigation of FRP Effects on Damaged Arches in Historical Masonry Structures, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (4),659-670 2015.
18. Bozal M., Yıldırım S., Akçaabat Dürbinar Camii Rölöve, Restitüsyon, Restorasyon ve Sanat Tarihi Raporu, Trabzon, 2011.
19. Restorasyon Projesi, Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Envar Mimarlık Müh. Müş. Ltd. Şti, Trabzon, Türkiye, 2011.
20. PULSE, Analyzers and Solutions, Release 11.2. Bruel and Kjaer, Sound and Vibration Measurement A/S, Denmark, 2006.
21. OMA, Operational Modal Analysis, Release 4.0, Structural Vibration Solution A/S, Denmark, 2006.
22. Brincker R., Zhang L., Andersen P., Output-only modal analysis by frequency domain decomposition, in: Proceedings of the ISMA25 Noise and Vibration Engineering, Leuven, Belgium, 2000.