TARİHİ YIĞMA YAPILARIN DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNE RESTORASYON ETKİSİNİN ÇEVRESEL TİTREŞİM YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ: RİZE MERKEZ BÜYÜK GÜLBAHAR CAMİSİ ÖRNEĞİ

İ. Çalık[1], A. Bayraktar[2] ve T. Türker[3]

[1] *İnşaat Yüksek Mühendisi, Trabzon Bölge Müdürlüğü, Vakıflar Genel Müdürlüğü,61080, Trabzon,*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon*
[3] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon*
Email: ismetcalik@yahoo.com

ÖZET:

Ülkemizde, geçmişin birikimlerini günümüze aktaran birçok tarihi yapı bulunmaktadır. Bu yapılardan tarihi camiler, kültür varlıklarımız arasında oldukça büyük öneme sahip olup halen aktif kullanım durumundadır. Tarihi yapıların varlığını sürdürebilmesi, yapısal güvenliklerinin belirlenmesi ve gereken koruyucu önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Bu nedenle son yıllarda özellikle Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından bu tür yapılar yoğun şekilde restore edilmektedir. Tarihi eserlerin restorasyonunun yapısal davranışına nasıl etki ettiğinin belirlenmesi amaçlanan bu çalışmada, Rize Merkez Gülbahar Mahallesi Büyük Camisi örnek olarak seçilmiştir. Caminin restorasyon öncesi durumuna ait deneysel dinamik karakteristikler çevresel titreşim testi yöntemiyle belirlenmiştir. Restorasyon sonrası durum için, restorasyon projesi ve halihazır uygulamasına göre oluşan yeni duruma ilişkin deneysel ölçümler tekrarlanmıştır. Deneysel olarak belirlenen dinamik karakteristiklerin restorasyon öncesi ve sonrası durum için karşılaştırılmaları yapılmıştır. Restorasyon kapsamında yapıda gerçekleştirilen uygulamaların yapıyı nasıl etkiledikleri incelenmiş ve yığma yapıların restorasyonlarının yapıların dinamik karakterlerine etkileri değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Çevresel titreşim testi, tarihi camiler, restorasyon, yığma yapılar.

1. GENEL BİLGİLER

Tarihi yapılar, insanlığın ortak değerleri olarak geçmişten geleceğe aktarılması gereken miraslardır. Bu mirasın gelecek nesillere güvenle aktarılması için eserlerin yapısal güvenliklerinin irdelenmesi ve sürekli olarak izlenmesi gereklidir. Tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere güvenle devredilebilmesi, ancak gerekli bakım, onarım ve güçlendirmelerinin yapılmasıyla mümkündür. Bu işlemlerin doğru ve başarılı bir şekilde yapılabilmesi için yapıların mevcut özelliklerini yansıtan yapısal davranışlarının bir bütün olarak belirlenmesi gerekir.

Tarihi eserlerin yapısal davranışlarının belirlenmesi ile ilgili birçok araştırmacı çeşitli yöntemlerle incelemeler yapmış ve yapmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalarda analitik ve deneysel yöntemler kullanılmaktadır. Akan (2010) tarafından Anadolu'daki tarihi ahşap sütunlu camilerin önemli örneklerinden biri olan Ankara Ahi Elvan Camisi'nin yapısal analizi yapılmıştır. Doğangün vd. (2011) tarafından İzmir Bergama Kızılavlu Bazilikasının ana girişinin sismik performansı analitik olarak incelenmiştir. Can ve Ünay (2012) tarafından tarihi yapıların deprem davranışlarını belirlemek için sayısal yöntemlerle ilgili bir çalışma yapılmıştır. 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. Deneysel yöntemler kullanılarak Turek vd. (2002), Durukal vd. (2003), Gentile ve Saisi (2007), Beyen (2007), Bayraktar vd. (2007), Bayraktar (2009), Bayraktar vd. (2011) ve Lourenço ve Ramos (2011) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda incelenen yapıların dinamik karakteristikleri deneysel yöntemlerle titreşim testleri yapılarak belirlenmekte ve yapısal davranışa ilişkin değerlendirmeler yapılmaktadır. Creazza vd.

(2001) tarafından FRP ile güçlendirilmiş tonoz yapısının analitik ve deneysel analizi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Atamturktur vd. (2011) hasarlı ve hasarsız tonoz yapısının titreşim karakteristiklerini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Çalık vd. (2012) çalışmasında yığma taş minarelerin analitik ve deneysel yöntemlerle güvenliğinin belirlenmesini araştırmıştır.

Bu makalede, tarihi Rize Büyük Gülbahar camisi ve minaresinin restorasyon öncesi ve sonrası dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle belirlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen dinamik karakteristiklerin restorasyon öncesi ve sonrası durum için karşılaştırılmaları yapılmıştır. Restorasyon kapsamında yapıda gerçekleştirilen uygulamaların yapıyı nasıl etkiledikleri incelenmiş ve yığma yapıların restorasyonlarının yapılara katkıları değerlendirilmiştir.

2. RİZE BÜYÜK GÜLBAHAR CAMİSİ

Rize İli Gülbahar Mahallesinde yer alan Büyük Gülbahar Camii 73 pafta 544 ada 2 parselde kayıtlıdır. İlk yapım tarihi Hicri 1070 (Miladi 1660) olan eser, 1931 yılında bugünkü haline dönüştürülmüştür. Büyük Gülbahar Camiinin konumunu belirtir harita Şekil 1'de verilmektedir.

Şekil 1. Büyük Gülbahar Camisi Rize, Türkiye.

Mülkiyeti Vakıflar Genel Müdürlüğüne ait Büyük Gülbahar Camii, Gayrimenkul Eski Eserler Anıtlar Yüksek Kurulu tarafından 13.11.1982 tarih ve 3966 numaralı karar ile korunması gerekli kültür varlığı olarak belirlenmiştir. Camiye ait görüntü Şekil 2'de verilmektedir.

Şekil 2. Büyük Gülbahar Camisine ait görüntü.

Eserin ilk olarak miladi 1660 yılında Gülbahar Hatun adına yaptırıldığı ancak 1931 yılında mahalle halkı tarafından yıkılarak bugünkü yapının inşa edildiği bilinmektedir (Eki Eser Anıt Fişi). Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2011 yılında rölöve, restitüsyon ve restorasyon projeleri hazırlatılan eser, 2012 yılında restorasyona alınmıştır. Bu makalenin hazırlandığı dönem itibari ile restorasyon işlerinin kaba inşaat kısmı tamamlanmış olup, ince işler ve çevre düzenleme işleri devam etmektedir. Eserin 2012 yılı restorasyon öncesi halini gösterir fotoğraflar Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3. Büyük Gülbahar Camisinin restorasyon öncesine ait görüntüler.

Caminin ana ibadet mekânı moloz taş duvardan yapılmış kare planlıdır. Kiremit kaplı ahşap çatının içinde bağdadi kubbe bulunmaktadır. Kubbenin içi bağdadi sıvalı, tavanın geri kalan kısmı ise çıtalı ahşap tavandır. Eserin iç duvarları sıvalı ve boyalı, mihrabı beton, minberi ve kürsüsü ahşaptır. Ahşap mahfil katına caminin içinden ve son cemaat mekânından çıkılmaktadır. Restorasyon esnasında son cemaatte bulunan merdiven iptal edilmiştir. Şekil 4'te caminin kat planı ve yan cephe görünüşleri verilmektedir. Son cemaat mekanı onarımdan sonra orijinal şekli ile açık hale getirilmiş ve minarede çürüyen taşlar yenilenmiştir. İlgili projeler Zan İnş. Mimarlık Müh. Müş. Ltd. Şti tarafından çizilmiş olup, tüm hakları Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğüne aittir.

Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2012 yılında ihale edilen eserin yüklenicisi Mimar Kemal Bektaş'tır. Restorasyon işlemlerinde yapısal işlemler büyük ölçüde tamamlanmış olup, ince işleri ve çevre düzenleme işleri hali hazırda devam etmektedir. Şekil 5'te Büyük Gülbahar Camisinin restorasyon aşamasına ait iç ve dış mekan görüntüleri verilmektedir.

Şekil 4. Büyük Gülbahar Camisi kat planı ve cephe görünüşleri (Restorasyon Projesi, 2011).

Şekil 5. Büyük Gülbahar Camisine ait dış ve iç mekan görüntüleri.

3. BÜYÜK GÜLBAHAR CAMİSİNİN RESTORASYON UYGULAMALARI

Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2012-2013 yıllarında gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları kapsamında camide aşağıdaki sıralanan müdahaleler yapılmıştır:

- Çatı kaplaması kaldırılmış, çatıda tahkimat yapılarak üst örtü su ve ısı yalıtımı yapılarak yenilenmiştir.
- Eserin çürümüş ahşap döşeme, tavan kaplaması ve doğramaları yenilenmiştir.
- Minber ve giriş kapısı yağlı boyalardan temizlenmiş ve orijinal ahşap dokuları ortaya çıkarılmıştır.
- Mihrap yağlı boyadan arındırılmış, sıva raspası yapılarak taş öğelerin araştırması yapılmıştır. Ancak mihrabın beton olarak yapılmış olduğu tespit edilmiştir. Estetik olarak başarılı bir şekilde düzenlenmiş olan mihrabın orijinal haline ilişkin belgelere ulaşılamadığı için beton mihrap sökülmemiş, alçı çekilerek boyanmıştır.
- Cami iç sıvası horasan sıva ile yenilenmiştir.
- Cami dış cephelerinin derzleri yenilenmiştir.
- Taş pencere sövelerinde ve dış kaplama taşlarında özelliklerini kaybetmiş taşlar çürütülerek yenileri ile değiştirilmiştir.
- Caminin son cemaat mekânında ve batı kısmındaki sundurmanın taşıyıcı sütunlarının büyük çoğunluğunun taş başlık ve kaideleri değiştirilmiş, kuzey batı köşesinde bulunan taş sütun tamamıyla yenilenmiştir.
- Minare korkuluklarından bozuk olanlar yenilenmiş, şerefe altında, gövdede ve minare kaidesinde bulunan bozulmuş taşlar yenileri ile değiştirilmiştir.
- Caminin elektrik tesisatı yenilenmiştir.
- Caminin batısında yer alan alanda şadırvan ve WC yapımı ve çevre düzenlemesi işlemleri bu yayın hazırlanırken devam etmektedir.

Caminin ve minarenin onarıma ilişkin görüntüler Şekil 6-7'de verilmektedir.

Şekil 6. Büyük Gülbahar Camii restorasyonuna ait görüntüle

Şekil 7. Büyük Gülbahar Camii minaresine ait görüntüler.

4. BÜYÜK GÜLBAHAR CAMİSİNİN VE MİNARESİNİN RESTORASYON ÖNCESİ ÇEVRESEL TİTREŞİM TESTLERİ

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 etkili bir yöntemidir. Bu yöntemle yapılan ölçümlerde yapıda herhangi bir hasar oluşturulmadığından, özellikle de tarihi yapılar için oldukça kullanışlı ve tercih edilen bir yöntemdir. Sözkonusu yöntemde, yapı taşıt yükü, rüzgâr veya yaya hareketi gibi bilinmeyen çevresel etkilerle uyarılmakta ve yapının bu etkilere verdiği tepkiler ölçülmektedir.

Büyük Gülbahar Camisi ve minaresinde yapılan ölçümler, Çevresel Titreşim Testi Yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde titreşim verilerini 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 (PULSE, 2006; OMA, 2006).

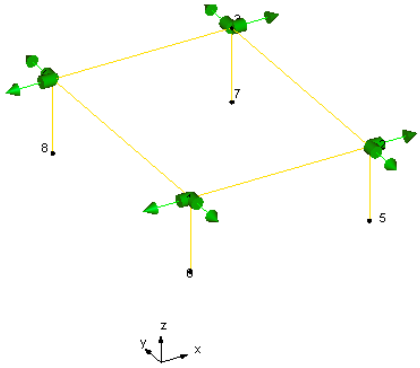
4.1. Caminin Çevresel Titreşim Testi

Büyük Gülbahar Camisinde gerçekleştirilen ölçümde toplam 8 adet ivmeölçer kullanılmıştır. İvmeölçerler yapının enine ve boyuna doğrultulardaki hareketlerini ölçecek şekilde caminin köşe noktalarında iç yüzeylere bağlanmıştır. Şekil 8-9'de ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir.

Şekil 8. Büyük Gülbahar Camisindeki ölçümde ivmeölçer yerleşimine ait görüntüler.

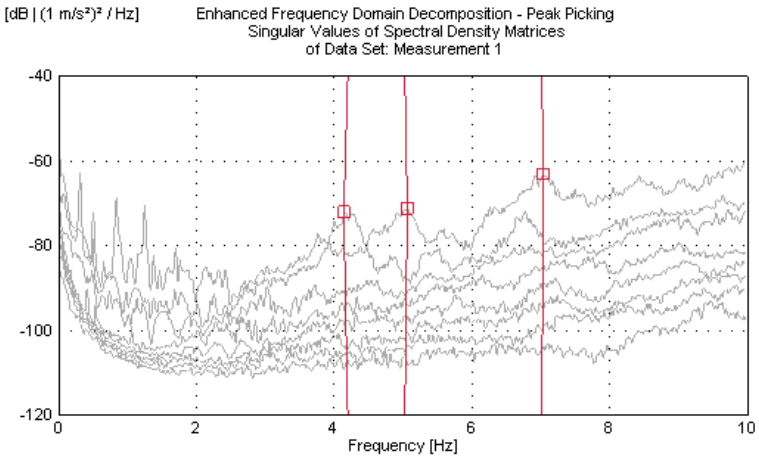
Şekil 9. Büyük Gülbahar Camisindeki ölçümde veri toplama sistemine ait görüntüler.

Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla yapıyı temsilen oluşturulan model Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 10. Büyük Gülbahar Camisindeki ölçüme ait temsili model ve ivmeölçer yerleşimi.

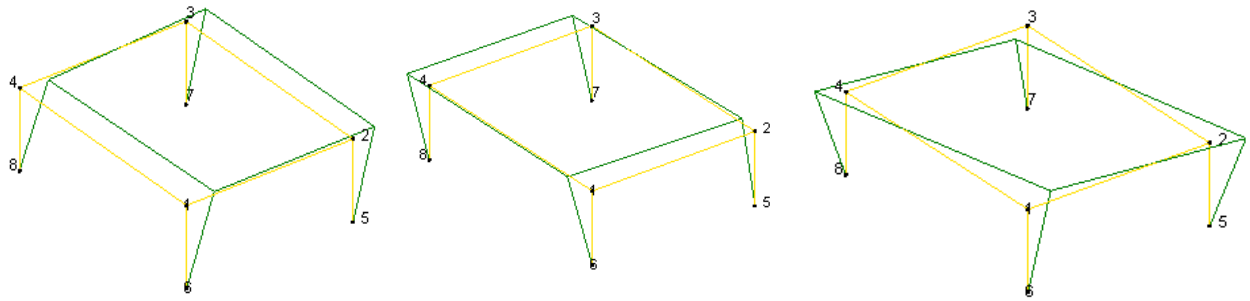
Caminin taşıyıcı dış gövde duvarlarından 30 dakika süreyle ölçüm alınmış ve elde edilen sinyaller analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 11'de verilen spektrum yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 1'de ise restorasyon öncesi durum için caminin ilk üç doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranı verilmektedir. Camide yapılan ölçümünden elde edilen ilk üç mod şekli ise Şekil 12'de verilmektedir.



Şekil 11. Camiye ait GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum.

Tablo 1. Büyük Gülbahar Camisinde ölçülen ilk üç doğal frekans ve sönüm oranı.

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	4.199	2.801
2	5.027	2.534
3	7.021	3.471



1. Mod 2. Mod 3. Mod

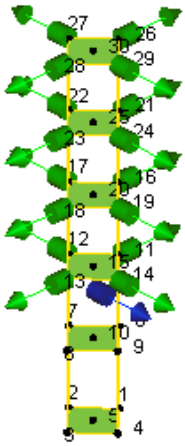
Şekil 12. Gülbahar Büyük Camiinin ilk üç deneysel mod şekli.

4.2. Minarenin Çevresel Titreşim Testi

Büyük Gülbahar Camisi minaresinde gerçekleştirilen ölçümde 8 adet ivmeölçer iki tekrar ile kullanılmış ve toplam 16 noktadan veriler alınmıştır. İki ölçüm bir adet referans ivmeölçer kullanılarak birleştirilmiş ve minarenin doğal frekansı, sönüm oranı ve mod şekilleri bulunmuştur. Şekil 13'te minarenin ölçümüne ilişkin bazı fotoğraflar verilmektedir.

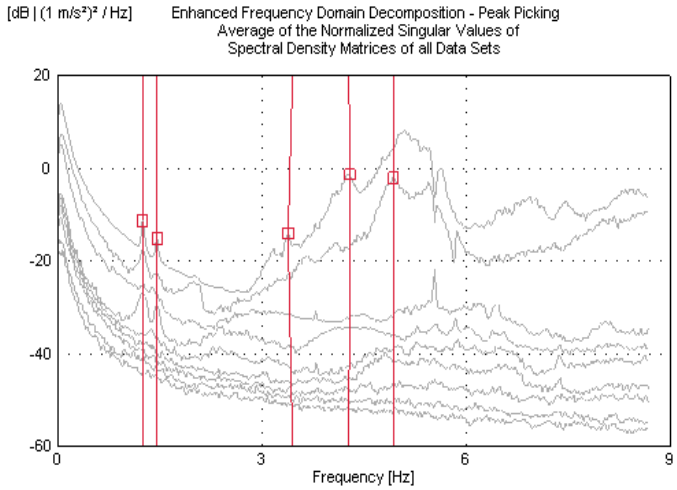
Şekil 13. Büyük Gülbahar Camisi minaresinde gerçekleştirilen ölçüme ait görüntüler.

Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla minareyi temsilen bir model oluşturulmuştur. Bu temsili model Şekil 14'te verilmektedir.



Şekil 14. Gülbahar Büyük Camii minaresinde yapılan ölçüme ait temsili model ve ivmeölçer yerleşimi.

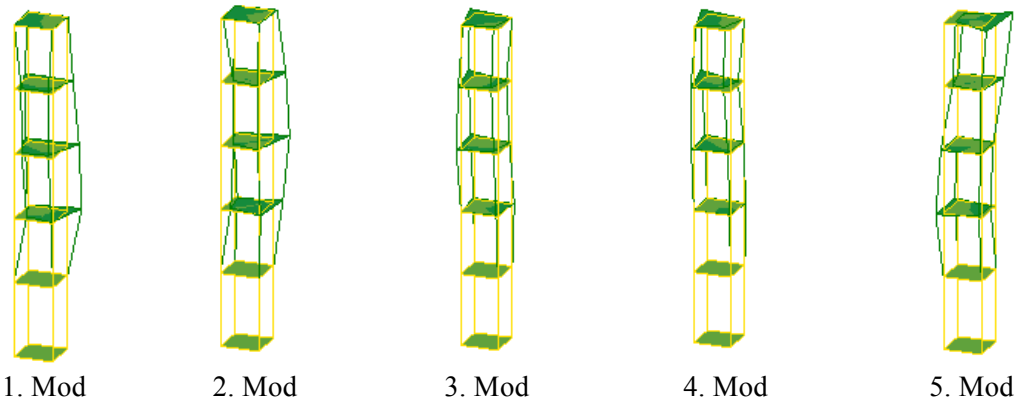
Minarede 30'ar dakika süreyle iki ölçüm alınmış ve elde edilen sinyaller birleştirilerek analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak minarenin restorasyon öncesi için doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 15'te verilen spektrum yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 2'de minarenin ilk beş doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranı verilmektedir. Minarenin ölçümünden elde edilen ilk beş mod şekli ise Şekil 15'te sunulmaktadır.



Şekil 15. Minarede GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum.

Tablo 2. Büyük Gülbahar Camisi Minaresinin ölçülen ilk beş doğal frekansı ve sönüm oranı.

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	1.258	1.374
2	1.462	1.551
3	3.457	3.915
4	4.285	3.142
5	4.936	1.016



Şekil 16. Büyük Gülbahar Camisi minaresinin ilk beş deneysel mod şekli.

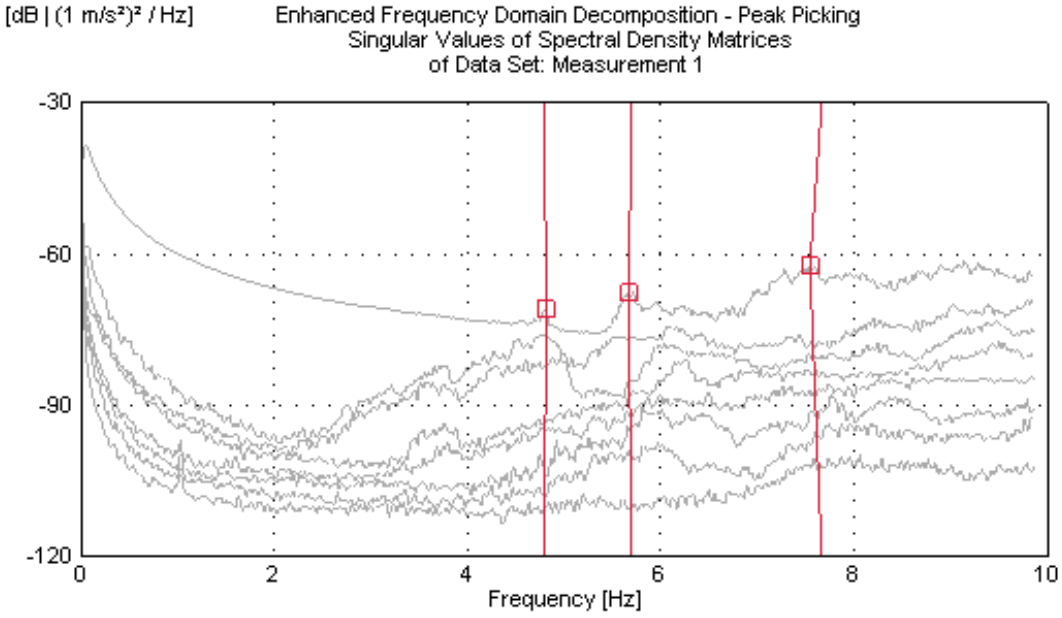
5. BÜYÜK GÜLBAHAR CAMİSİNİN VE MİNARESİNİN RESTORASYON SONRASI ÇEVRESEL TİTREŞİM TESTLERİ

5.1. Caminin Çevresel Titreşim Testi

Büyük Gülbahar Camisinin restorasyon sonrası yapılan çevresel titreşim testi ölçümlerinde restorasyon öncesinde yapılan ölçüm süreleri ve sistemine sadık kalınmıştır. Bu bağlamda, gerçekleştirilen ölçümde toplam 8 adet ivmeölçer kullanılmış olup, ivmeölçerler cami dış duvarlarına monte edilmiştir. Şekil 16'da ivmeölçer yerleşimine ve veri toplama sistemine ait görüntüler verilmektedir.

Şekil 17. Büyük Gülbahar Camisindeki restorasyon sonrası ölçümde ivmeölçer yerleşimleri ve veri toplama sistemine ait görüntüler.

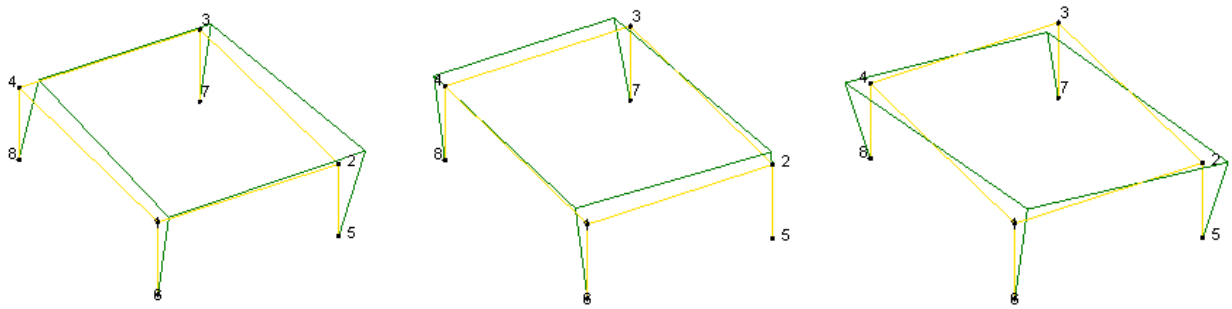
Ölçüm sırasında ivmeölçer bağlantı noktalarını ve ivmeölçer yönlerini belirlemek amacıyla restorasyon öncesinde kullanılan ölçüm ayarları dikkate alınmıştır. Caminin taşıyıcı dış gövde duvarlarından 30 dakika süreyle ölçüm alınmış ve elde edilen sinyaller analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak yapının doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 17'de verilen spektrum yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 3'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 18'de verilmektedir.



Şekil 18. Caminin restorasyon sonrasına ait GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum.

Tablo 3. Büyük Gülbahar Camisinde restorasyon sonrası ölçülen ilk üç doğal frekans ve sönüm oranı.

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	4.801	0.524
2	5.700	2.255
3	7.668	4.949



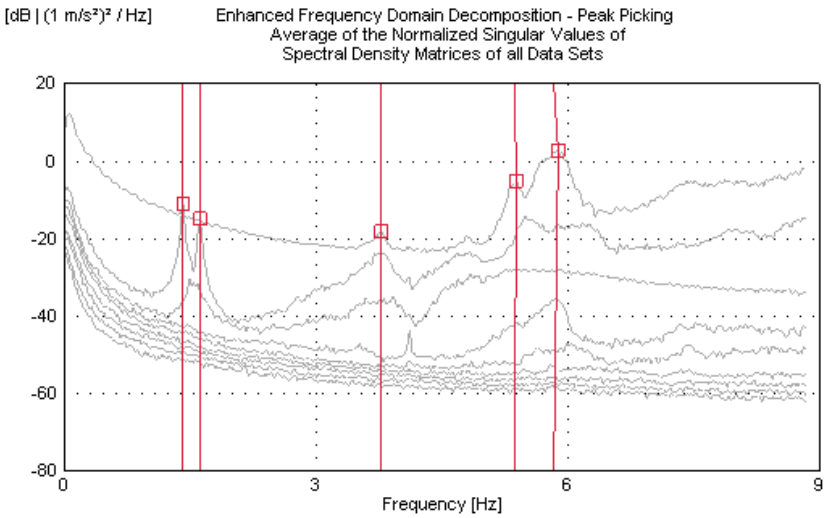
1. Mod 2. Mod 3. Mod

Şekil 19. Gülbahar Büyük Camiinin restorasyon sonrası ilk üç deneysel mod şekli.

5.2. Minarenin Restorasyon Sonrası Çevresel Titreşim Testi

Büyük Gülbahar Camisi minaresinde yapılan restorasyon sonrası gerçekleştirilen çevresel titreşim testi ölçümlerinde restorasyon öncesi kurulan sistem aynen tekrarlanmıştır. Dolayısıyla burada tekrar ölçüm sistemi verilmeyecektir.

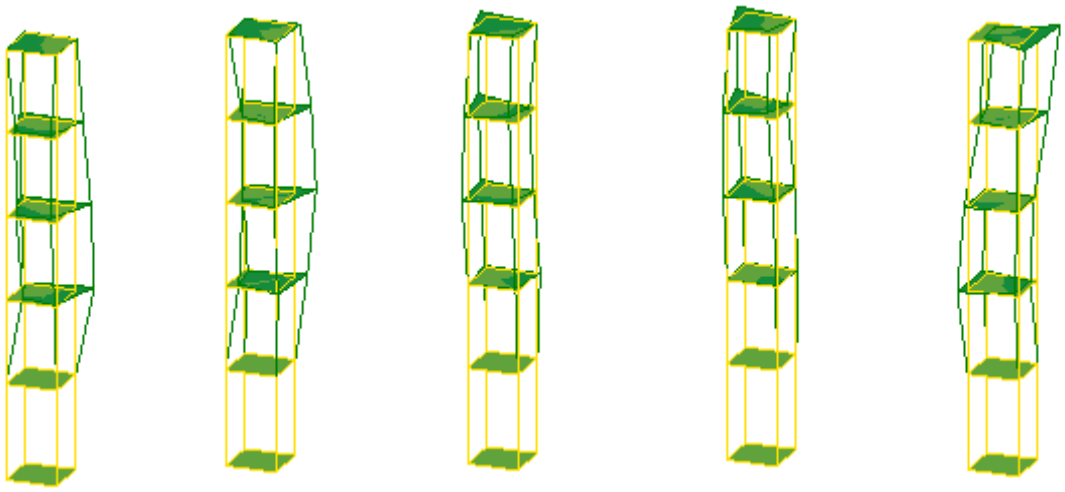
Minareden alınan referanslı ölçümler birleştirilerek analiz edilmiştir. Analiz edilen sinyallerden Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) yöntemi kullanılarak minarenin restorasyon sonrası için doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve modal sönüm oranları Şekil 19'da verilen spektrum yardımıyla elde edilmiştir. Tablo 2'de minarenin ilk beş doğal titreşim frekansı ve modal sönüm oranı verilmektedir. Minarenin ölçümünden elde edilen ilk beş mod şekli ise Şekil 20'de sunulmaktadır.



Şekil 20. Minarede restorasyon sonrasında GFTAA yöntemi kullanılarak elde edilen spektrum.

Tablo 4. Büyük Gülbahar Camisi Minaresinin ölçülen ilk beş doğal frekansı ve sönüm oranı.

Mod Numarası	GFTAA Yöntemi	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	1.419	0.821
2	1.618	1.181
3	3.771	1.328
4	5.375	0.910
5	5.839	2.177



1. Mod 2. Mod 3. Mod 4. Mod 5. Mod

Şekil 21. Büyük Gülbahar Camisi minaresinin ilk beş deneysel mod şekli.

6. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Rize Merkez Gülbahar Büyük Camiinin restorasyon öncesi ve sonrasına ait çevresel titreşim testi ile elde edilen doğal frekanslar ve sönüm oranları karşılaştırmalı olarak Tablo 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Büyük Gülbahar Camisi doğal frekansı ve sönüm oranlarının restorasyon etkisi ile değişimi

Mod Numarası	Restorasyon Öncesi		Restorasyon Sonrası	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	4.199	2.801	4.801	0.524
2	5.027	2.534	5.700	2.255
3	7.021	3.471	7.668	4.949

Tablo 5'te sunulan veriler değerlendirildiğinde yapının restorasyon etkisi ile doğal frekansının önemli bir şekilde artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu da camide yapılan restorasyonun yapının rijit hale gelmesine neden olduğunu göstermektedir.

Rize Merkez Gülbahar Büyük Camiinin minaresinin restorasyon öncesi ve sonrasına ait çevresel titreşim testi ile elde edilen doğal frekanslar ve sönüm oranları karşılaştırmalı olarak Tablo 6'da verilmektedir.

Tablo 6. Büyük Gülbahar Camisi Minaresi doğal frekansı ve sönüm oranlarının restorasyon etkisi ile değişimi

Mod Numarası	Restorasyon Öncesi		Restorasyon Sonrası	
	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	1.258	1.374	1.419	0.821
2	1.462	1.551	1.618	1.181
3	3.457	3.915	3.771	1.328
4	4.285	3.142	5.375	0.910
5	4.936	1.016	5.839	2.177

Tablo 6'da sunulan veriler değerlendirildiğinde minarenin restorasyon etkisi ile doğal frekanslarında bir miktar artış olduğu görülmektedir. Ancak artış, camideki kadar belirgin değildir. Bunun, minareye yapılan müdahalelerin camiye yapılanlar kadar kapsamlı olmamasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 2012-2013 yıllarında restore edilen taşınmaz kültür varlığı olarak tescilli Rize Gülbahar Büyük Camisinin ve minaresinin dinamik karakteristikleri Çevresel Titreşim Testi kullanılarak deneysel olarak belirlenmiştir. Restorasyon öncesi ve sonrası durumları ayrı ayrı ölçülen yapının doğal frekansları ve sönüm oranları karşılaştırılmış olup, sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Caminin restorasyon öncesi ilk üç moduna ait doğal frekanslar 4.199 ile 7,021Hz, modal sönüm oranları ise % 2.801 ile 3.471 arasında değişmektedir.
- Minarenin restorasyon öncesi ilk beş moduna ait doğal frekanslar 1.258 ile 4.936Hz, modal sönüm oranları ise % 1.016 ile 3.915 arasında değişmektedir.
- Caminin restorasyon sonrası ilk üç moduna ait doğal frekanslar 4.801 ile 7.668Hz, modal sönüm oranları ise % 0.524 ile 4.949 arasında değişmektedir.
- Minarenin restorasyon sonrası ilk beş moduna ait doğal frekanslar 1.419 ile 5.839Hz, modal sönüm oranları ise % 0.821 ile 2.177 arasında değişmektedir.
- Restorasyon uygulamaları kapsamında yapılan çatı tahkimatı, duvar sağlıklaştırmaları, sıva ve derz yenilemelerinin caminin rijitliğini önemsenecek derecede arttırdığı anlaşılmaktadır.
- Minarenin doğal frekansının, camiye nazaran daha düşük oranda olsa da, yapılan onarımların etkisi ile arttığı anlaşılmıştır. Minarede, camiye göre daha az müdahalenin yapılmış olmasından dolayı aradaki artış oranının az olması normal ve beklenilen bir durumdur.
- Eski eserlerin, özelliklerini kaybetmiş sıva, derz, taş elmanlar ve diğer taşıyıcı öğelerinin özgün malzeme ve yapım teknikleri kullanılarak yenilenmesi; eserlerin dinamik karakterlerine olumlu etki yaparak kültür miraslarının gelecek nesillere daha sağlıklı şekilde aktarılmasına yardımcı olacaktır.
- Büyük çoğunluğu deprem kuşağında olan Ülkemizin kültür miraslarını gelecek nesillere sağlıkla aktarmak ve kullanıcıların can ve mal kayıplarını engellemek için eserlerin yapı sağlıklarının Çevresel Titreşim Testi gibi bilimsel çalışmalarla sürekli olarak izlenmesi önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 106M038 numaralı TÜBİTAK ve KTÜ BAP Projeleri ile kurulan Laboratuvar imkanları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında verdikleri izinler ve destekler dolayısı ile Trabzon Vakıflar Bölge Müdürlüğüne, değerli personeline ve işin Yüklenicisi Kemal Bektaş'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akan, A.E., 2010. Tarihi Ahşap Sütunlu Camilerin Sonlu Elemanlar Analizi ile Taşıyıcı Sistem Performansının Belirlenmesi, SDU International Technologic Science, 2, 1, 41-54.

Atamturktur, S., Bornn, L., Hemez, F., 2011. Vibratioan characteristics of vaulted masonary monuments undergoing differantial support settlement, Engineering Structures 33, 2472-2484.

Bayraktar, A., Sevim, B., Altunışık, A.C., Türker,T., 2007. Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Güvenliklerinin Operasyonal Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi, Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1 Bildiriler Kitabı, 415-428.

Bayraktar, A., 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, 37-47.

Bayraktar, A., 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, Canference Proceedings, 163-173

Beyen, K., 2007. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Hasar Alan Fatih Camiinin Dinamik Karakteristiklerinin Tanımlanması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

Can, H., Ünay, A. İ., 2012. Tarihi Yapıların Deprem Davranışını belirlemek İçin Sayısal Analiz Yöntemleri, G.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 27, 1, 211-217.

Creazza, G., Saetta, A. V., Matterazzi, R., Vitaliani, R. V., 2001. Analysis of masonary structures reinforced by FRP, Historical Constructions, P.B. Lourenço, P. Roca (Eds), Guimaraes, 539-545.

Çalık, İ., Demirtaş, B., Bayraktar, A., Türker, T., 2012. Yığma Taş Minarelerin Analitik ve Deneysel Yöntemlerle Güvenliğinin Belirlenmesi; Trabzon Muhittin Camisi Minaresi Örneği, Vakıflar Dergisi, 38, 121-140.

Doğangün, A., 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, Canference Proceedings, 333-344.

Durukal, E., Cimilli, S.,Erdik, M., 2003. Dynamic response of two historical monuments in İstanbul deduced from the recordingsof Kocaeli and Duzce earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America; 93, 2, 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, 1311-1321.

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, 55-78

OMA, 2006. Operational Modal Analysis, Release 4.0, Structural Vibration Solution A/S, Denmark.
PULSE, 2006. Analyzers and Solutions, Release 11.2. Bruel and Kjaer, Sound and Vibration Measurement A/S, Denmark.

Turek , M., Ventura, C.E., Placencia, P., 2002. Dynamic characteristisc of a 17th centuray church in Quito, Internat Soc. Opt. Eng. 2002, IMAC-XX, Conferenece&Expositioan on Structural Dynamics, 4753, 2, 1259-1264.

Restorasyon Projesi, 2011, Vakıflar Bölge Müdürlüğü, Zan İnş. Mimarlık Müh. Müş. Ltd. Şti, Trabzon, Türkiye.